



TUGAS AKHIR - TM141585 (KE)

**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI OCTAGONAL ELBOW 90°
DILENGKAPI DUA GUIDE VANE PADA CLOSED CIRCUIT
WINDTUNNEL**

**ABEL BRYAN ADAM
2111 100 002**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng. Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM141585 (KE)

***EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW THROUGH THE OCTAGONAL
ELBOW 90° COMPLETED TWO GUIDE VANE ON CLOSED
CIRCUIT WINDTUNNEL***

**ABEL BRYAN ADAM
2111 100 002**

**Supervisor
Prof. Ir. SUTARDI, M.Eng. Ph.D**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Industrial Technology Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI OCTAGONAL
ELBOW 90° DILENGKAPI DUA GUIDE VANE PADA
CLOSED CIRCUIT WINDTUNNEL**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Oleh :

ABEL BRYAN ADAM
NRP. 2111100002

Disetujui oleh Pembimbing dan Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D..... (Pembimbing)
NIP. 196412281990031002
2. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT..... (Penguji 1)
NIP. 197104051997021004
3. Vivien Suphandani, S.T., M.E., Ph.D..... (Penguji 2)
NIP. 198105292003122001
4. Nur Ikhwan, ST., M.Eng..... (Penguji 3)
NIP. 196709151995121001

SURABAYA
Januari 2016



**STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI OCTAGONAL
ELBOW 90° DILENGKAPI DUA GUIDE VANE PADA
CLOSED CIRCUIT WINDTUNNEL**

Nama Mahasiswa : Abel Bryan Adam
NRP : 2111 100 002
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D

Abstrak

Penggunaan *elbow* dalam perancangan *closed circuit windtunnel*, akan menyebabkan terjadinya kerugian tekanan pada aliran. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan arah aliran fluida yang melalui saluran tersebut. Fenomena aliran melalui *elbow* yang menyebabkan *pressure drop* diantaranya adalah gesekan fluida dengan dinding saluran, separasi aliran dan *secondary flow*. Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalkan terjadinya *pressure drop* adalah dengan memberikan tambahan *guide vane* pada *elbow*.

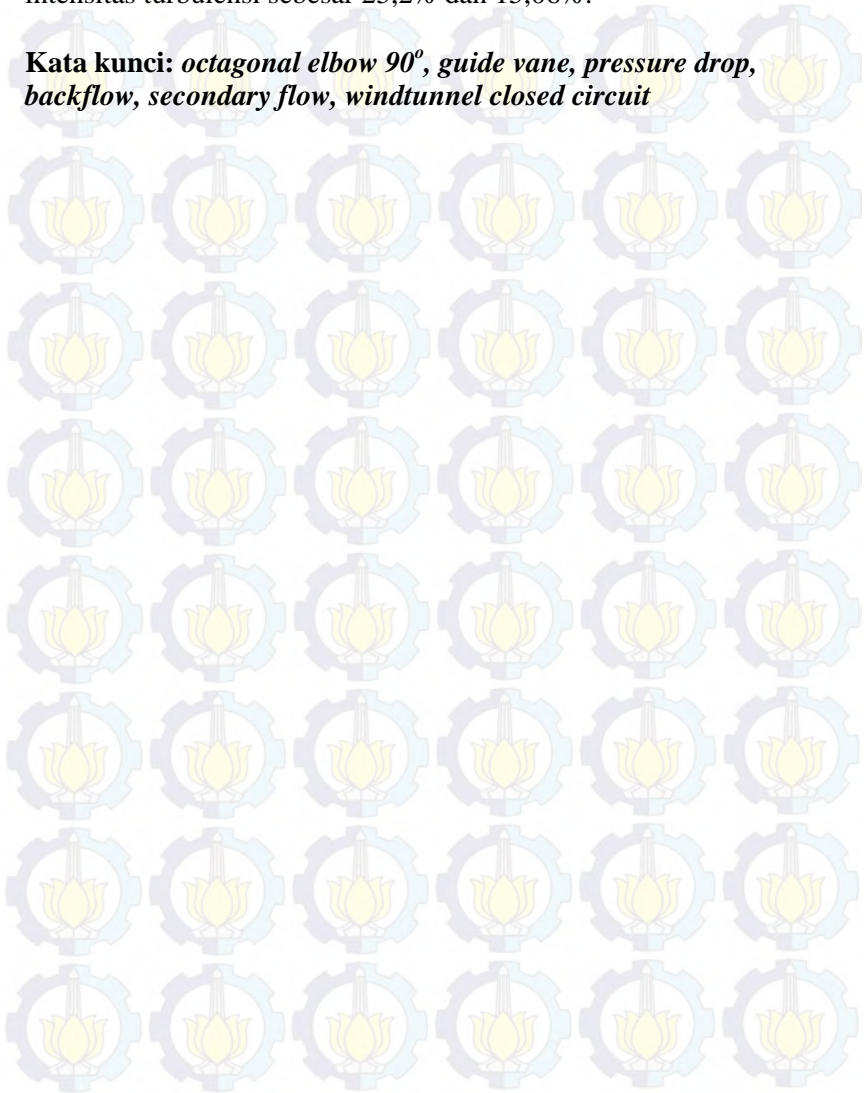
Penelitian ini dilakukan secara eksperimen. Model uji yang digunakan adalah *octagonal elbow 90°* dengan dua *guide vane* dan tanpa *guide vane*. Fluida yang mengalir adalah dengan asumsi udara *incompressible*, dan *steady*. Pada penelitian ini digunakan kecepatan *free stream* sebesar 5,5 m/s dan 11 m/s dengan *Re* sebesar $1,8 \times 10^5$ dan $3,6 \times 10^5$.

Berdasarkan distribusi *wall pressure coefficient* (C_p), penambahan dua *guide vane* di dalam *elbow* pada $Re = 1,8 \times 10^5$ mampu menurunkan $\Delta C_{p(\text{inner-outer})}$ sebesar 26,68% dan *pressure drop* ($\Delta C_{p(\text{inlet-outlet})}$) sebesar 28,22%. Penambahan dua *guide vane* di dalam *elbow* pada $Re = 3,6 \times 10^5$ dapat menurunkan $\Delta C_{p(\text{inner-outer})}$ sebesar 16,28% dan *pressure drop* $\Delta C_{p(\text{inlet-outlet})}$ sebesar 21,05%. Berdasarkan distribusi profil kecepatan pada *inlet* dan *outlet* terlihat adanya aliran balik (*backflow*) pada bagian *inner*. Penambahan dua *guide vane* pada kedua *Re* dapat meminimalkan adanya *backflow*. Penambahan dua *guide vane* pada $Re = 1,8 \times$



10^5 dan $Re = 3,6 \times 10^5$ masing-masing dapat menurunkan tingkat intensitas turbulensi sebesar 25,2% dan 15,06%.

Kata kunci: *octagonal elbow 90°, guide vane, pressure drop, backflow, secondary flow, windtunnel closed circuit*





**EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW THROUGH THE
OCTAGONAL ELBOW 90° COMPLETED TWO GUIDE
VANE ON CLOSED CIRCUIT WINDTUNNEL**

Student Name : Abel Bryan Adam
NRP : 2111 100 002
Major : Mechanical Engineering FTI-ITS
Lecture : Prof. Ir. Sutardi, M.Eng. Ph.D

Abstract

The use of elbow in a design of closed circuit wind tunnel, leads to the loss of pressure in the flow. It is caused by changes in the direction of fluid flow through the channel. The phenomena of flow through the elbow causing pressure drop include fluid friction with the walls of the channel, flow separation and secondary flow. Efforts should be made to minimize the pressure drop with additional guide vane at the elbow.

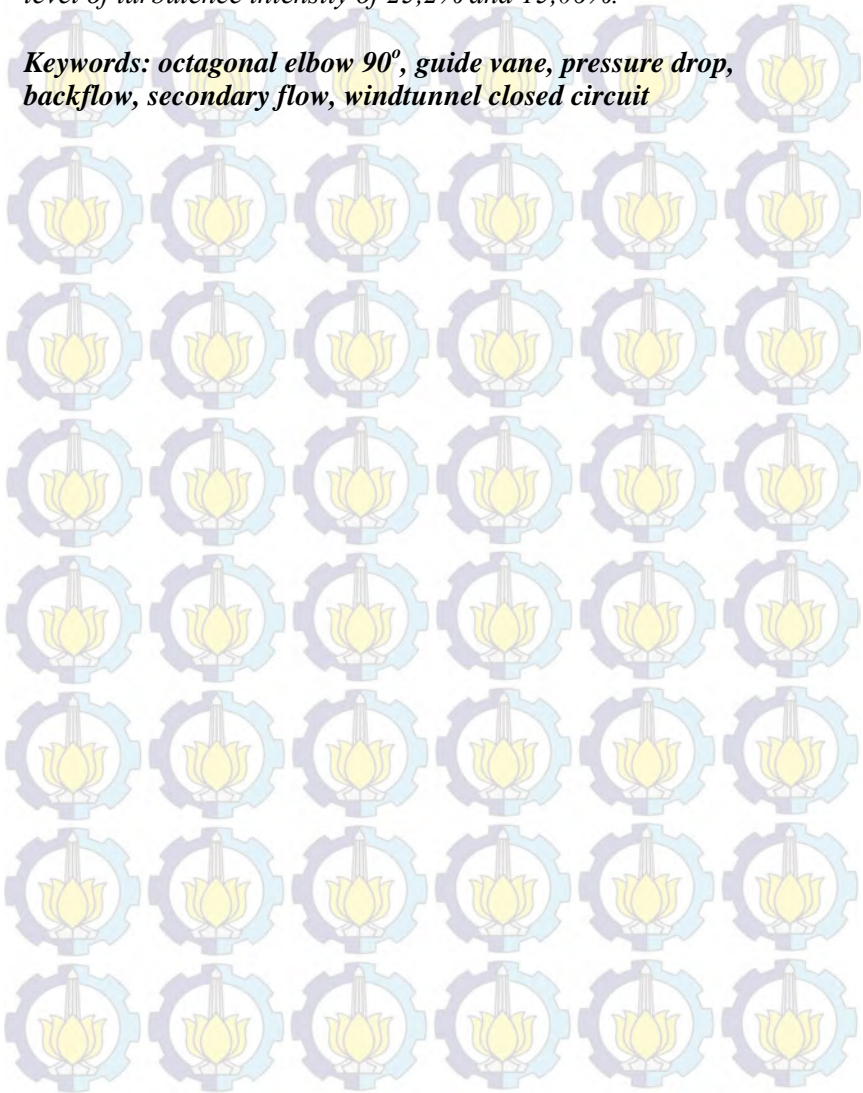
This research was done experimentally. The test model is an octagonal 90° elbow with two guide vanes and without a guide vane. Fluid flow is air and is assumed incompressible and steady. In this experiment, the free stream velocities are 5,5 m / s and 11 m / s with Re of $1,8 \times 10^5$ and $3,6 \times 10^5$.

Based on the distribution of wall pressure coefficient (C_p), the addition of two guide vanes in the elbow at $Re = 1,8 \times 10^5$ can reduce ΔC_p (inner-outer) of about 26,68% and the pressure drop (ΔC_p (inlet-outlet)) of about 28,22%. The addition of two guide vane in the elbow at $Re = 3,6 \times 10^5$ can reduce ΔC_p (inner-outer) amounted to 16,28% and the pressure drop ΔC_p (inlet-outlet) of about 21,05%. Based on the distribution of the velocity profile at the inlet and outlet, it is shown a presence of backflow (backflow) in the inner part. The addition of two guide vanes on both Re can minimize the backflow. The addition of two



guide vanes at $Re = 1,8 \times 10^5$ and $Re = 3,6 \times 10^5$ can reduced the level of turbulence intensity of 25,2% and 15,06%.

Keywords: octagonal elbow 90°, guide vane, pressure drop, backflow, secondary flow, windtunnel closed circuit





KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: **“STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI OCTAGONAL ELBOW 90° DILENGKAPI DUA GUIDE VANE PADA CLOSED CIRCUIT WINDTUNNEL”**. terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dan doa kepada penulis. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada”

1. Ayah Wibowo dan Ibu Asih Minarni yang luar biasa dan selalu memberikan doa, motivasi serta berkorban kerja siang malam untuk membiayai sekolah selama ini.
2. Bapak Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D sebagai Dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan tenaga, waktu diskusi, perhatian dan solusi disela-sela padatnya aktivitas kampus beliau.
3. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST. MT, Bapak Nur Ikhwan, ST. M.Eng, dan Ibu Vivien Suphandani, ST. ME. Ph.D sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr Bambang Pramujati selaku Ketua Jurusan Teknik mesin ITS yang telah memberi motivasi kepada penulis
5. Bpk. Nur Rochman dan Bpk. Sutrisno sebagai karyawan Lab Mekflu yang telah banyak membantu membuat alat *windtunnel* dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. Sudjud Darsopuspito, MT selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan akademik selama perkuliahan.
7. Adikku Tercinta Yona Aqmarina yang selalu memberikan motivasi, nasehat-nasehat kecil, dan doanya.
8. Giriesa Kinanti yang setiap minggu meluangkan waktu ke Surabaya menjenguk dan memberikan semangat.
9. Tim Tugas Akhir yaitu Fahmi Copet Khafidul Haq, Anastia Erina Palupi, Romi Naibaho dan Muhammad Rizky Akbar.



Tugas Akhir Konversi Energi

10. Teman-teman angkatanku M54 yang tidak bisa disebutkan satu per satu
11. Teman-teman kost si Jeh Tubagus Bima, dan Gondret Andriyan Aji Permono yang membantu dan menemani pengambilan data di *wintunnel*.

Penulis mengharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Terowongan Angin (Windtunnel).....	5
2.2 Desain <i>Elbow 90°</i> Pada <i>Closed Circuit Windtunnel</i>	6
2.3 Persamaan <i>Euler</i> Pada Koordinat <i>Streamline</i>	7
2.4 Proses Terjadinya Separasi Pada <i>Elbow</i>	9
2.5 Proses Terjadinya Aliran Sekunder Pada <i>Elbow</i>	10
2.6 <i>Coefficient Of Pressure (Cp)</i>	11
2.7 Distribusi Tekanan Disepanjang <i>Inner dan Outer Wall</i> <i>Elbow 90°</i>	12
2.8 Karakteristik Aliran Didalam <i>Elbow</i>	13
2.9 <i>Intensitas Turbulensi</i>	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Instalasi Penelitian.....	19
3.2 Peralatan Pendukung.....	23
3.3 Analisa Dimensi Parameter-Paramater yang Dianalisa.....	27
3.4 Langkah-langkah eksperimen.....	31
3.4.1 Prosedur Validasi.....	31
3.4.2 Pengambilan data kuantitatif.....	31
3.4.3 Pengolahan data kuantitatif.....	33



3.5 Flowchart Penelitian	36
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Distribusi <i>Wall Pressure Coefficient (Cp)</i>	39
4.1.1 Distribusi <i>Cp</i> Searah Streamline	39
4.1.2 Distribusi <i>Cp</i> pada Kelengkungan <i>Elbow</i>	45
4.2 Distribusi Profil Kecepatan	47
4.3 Intensitas Turbulensi	51
4.8 Perbandingan Hasil Eksperimen dari Penelitian Terdahulu	54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
BIODATA PENULIS	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Open circuit windtunnel</i>	5
Gambar 2.2 <i>Closed circuit windtunnel</i>	6
Gambar 2.3 Skema <i>elbow 90°</i> dengan <i>guide vanes</i>	7
Gambar 2.4 Partikel fluida yang mengalir sepanjang <i>streamline</i>	9
Gambar 2.5 <i>Secondary flow</i>	10
Gambar 2.6 <i>Secondary flow at corner rectangular elbow 90°</i>	11
Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada <i>curved wall</i>	12
Gambar 2.8 Distribusi tekanan pada <i>curved pipe</i>	13
Gambar 2.9 Profil kecepatan dan intensitas turbulensi ada <i>downstream elbow</i>	14
Gambar 2.10 (a) <i>Secondary flow</i> pada masing-masing <i>cross section elbow 90°</i>	15
Gambar 2.10 (b) Variasi <i>friction factor</i> dengan penambahan <i>guide vane</i>	15
Gambar 2.11 Profil Tekanan aliran pada setiap variasi <i>Re</i>	16
(a) 3 <i>Guide Vane</i>	16
(b) 2 <i>Guide Vane</i>	16
(c) 1 <i>Guide Vane</i>	16
(d) Tanpa <i>Guide Vane</i>	16
Gambar 3.1 Skema Instalasi Penelitian	19
Gambar 3.2 Skema penelitian	21
Gambar 3.3 <i>Plotting</i> posisi <i>guide vane</i> 1 dan 2 dari grafik hubungan antara C_p dengan r	22
Gambar 3.4 Skema posisi <i>guide vane</i>	23
Gambar 3.5 Skema pemasangan <i>wall pressure tap</i> dan <i>pitot tube</i>	24
Gambar 3.6 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan.....	25
Gambar 3.7 <i>Inclined manometer</i>	26
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> penelitian	37



Gambar 4.1	Grafik distribusi C_p inner dan outer wall tanpa dan dengan dua guide vane pada $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$	40
Gambar 4.2	Grafik perbandingan distribusi C_p inner dan outer wall tanpa dan dengan dua guide vane $Re = 1,8 \times 10^5$	42
Gambar 4.3	Grafik perbandingan distribusi C_p inner dan outer wall tanpa dan dengan dua guide vane $Re = 3,6 \times 10^5$	42
Gambar 4.4	Distribusi C_p tegak lurus streamline untuk tanpa dan dengan dua guide vane	46
Gambar 4.5	Distribusi profil kecepatan setiap section dengan $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$ tanpa guide vane pada section a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5 dan lokasi pengukuran profil kecepatan.....	48
Gambar 4.6	Distribusi profil kecepatan setiap section dengan $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$ dengan dua guide vane pada section a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5 dan lokasi pengukuran profil kecepatan.....	50
Gambar 4.7	Sinyal fluktuasi kecepatan tanpa penambahan guide vane pada $Re = 1,8 \times 10^5$	52
Gambar 4.8	Sinyal fluktuasi kecepatan tanpa penambahan guide vane pada $Re = 3,6 \times 10^5$	52
Gambar 4.9	Sinyal fluktuasi kecepatan dengan penambahan dua guide vane pada $Re = 1,8 \times 10^5$	53
Gambar 4.10	Sinyal fluktuasi kecepatan dengan penambahan dua guide vane pada $Re = 3,6 \times 10^5$	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh penambahan guide vane terhadap pressure Drop.....	17
Tabel 3.1 Posisi pengukuran <i>pressure tap</i> pada <i>octagonal elbow 90°</i>	24
Tabel 3.2 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan.....	25
Tabel 3.3 Perbandingan besar parameter-parameter dimensi yang diusulkan dengan penelitian terdahulu.....	30
Tabel 4.1 Perbandingan data eksperimen distribusi C_p pada <i>inner</i> dan <i>outer octagonal elbow</i> dengan variasi <i>guide vane</i> dan bilangan <i>Reynolds</i>	44
Tabel 4.2 Data eksperimen pengaruh penambahan dua <i>guide vane</i> terhadap <i>pressure drop</i>	44
Tabel 4.3 Data eksperimen pengaruh <i>Reynolds number</i> dan penambahan dua <i>guide vane</i> terhadap koefisien <i>minor losses</i>	45
Tabel 4.4 Perbandingan data eksperimen distribusi C_p <i>inner</i> dan <i>outer</i> pada arah radial <i>octagonal elbow</i> dengan variasi <i>guide vane</i> dan bilangan <i>Reynolds</i>	47
Tabel 4.5 Perbandingan intensitas turbulensi pada variasi <i>Re</i> dan <i>guide vane</i>	54
Tabel 4.6 Perbandingan data eksperimen terdahulu pada distribusi C_p <i>inner</i> dan <i>outer elbow</i> dengan variasi dua <i>guide vane</i> dan bilangan <i>Reynolds</i>	55



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR SIMBOL

Simbol geometri *elbow*

a	: tinggi <i>cross section elbow</i> 90°, (mm)
b	: lebar <i>cross section elbow</i> 90°, (mm)
D_h	: diameter hidrolis, (mm)
L_i	: panjang <i>inlet elbow</i> , (mm)
L_o	: panjang <i>outlet elbow</i> , (mm)
r_i	: <i>inner radius elbow</i> , (mm)
r_o	: <i>outer radius elbow</i> , (mm)
r_{g1}	: <i>guide vane 1 radius</i> , (mm)
r_{g2}	: <i>guide vane 2 radius</i> , (mm)
l_i	: panjang total dari <i>inner wall</i> , (mm)
l_o	: panjang total dari <i>outer wall</i> , (mm)
C_p	: <i>pressure coefficient</i> , tak berdimensi
g	: percepatan gravitasi (kg/m^2)
$p_{s,i}$: tekanan statis dinding pada $x/D_h = i$, (Pa)
p_{ref}	: tekanan statis referensi pada $x/D_h = 0$, (Pa)
p_o	: tekanan stagnasi yang diukur dengan <i>stagnation pressure tube</i> , (Pa)
p_s	: tekanan statis sejajar dengan <i>stagnation pressure tube</i> , (Pa)
r/b	: koordinat normal <i>streamline</i> , tak berdimensi
$(r-r_i)/b$: koordinat normal tegak lurus <i>streamline</i> , tak berdimensi
Re_{Dh}	: bilangan <i>Reynolds</i> $= \frac{\rho U_{ref} D_h}{\mu}$, tak berdimensi
SG	: <i>specific gravity</i> , tak berdimensi
T	: temperatur ruangan, ($^{\circ}\text{C}$)
u	: kecepatan lokal (m/s)
u'	: Standar deviasi kecepatan (m/s)
\bar{U}	: Kecepatan rata-rata (m/s)
U_{ref}	: kecepatan referensi yang diukur pada $x/L_i = 0$, atau $x/L_o = 0$, (m/s)



x_i/D_h	: koordinat sepanjang <i>streamline</i> berdasarkan panjang sisi <i>inner</i> , tak berdimensi
x_o/D_h	: koordinat sepanjang <i>streamline</i> berdasarkan panjang sisi <i>outer</i> , tak berdimensi
z	: koordinat vertikal
$\Delta C_{p_{inner-outer}}$: selisih C_p maksimum di sisi <i>outer</i> dan C_p minimum di sisi <i>inner</i> , tak berdimensi
$\Delta C_{p_{inlet-outlet}}$: selisih C_p di sisi <i>inlet</i> dan C_p di sisi <i>outlet</i> , tak berdimensi
$\frac{\partial p}{\partial x}$: gradient tekanan, (N/m^3)
$\frac{\partial p}{\partial r}$: gradien tekanan searah radial/ searah jari-jari (N/m^3)
Δh	: selisih bacaan awal dan akhir manometer, (mm)
ν	: viskositas kinematis udara, (m^2/s)
ρ_{H_2O}	: massa jenis air, (kg/m^3)
ρ_{ud}	: massa jenis udara, (kg/m^3)
ϕ	: sudut <i>inclined manometer</i> , derajat



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman modern saat ini kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi cukup pesat. Dibiidang aerodinamika, teknologi terowongan (*windtunnel*) juga mengalami perkembangan. *Windtunnel* pertama kali dibuat pada tahun 1871 oleh Francis Wenham dan John Browning dari Inggris, berdasarkan keinginan untuk simulasi penerbangan di dalam atmosfer. *Windtunnel* atau terowongan angin adalah salah satu teknologi yang digunakan sebagai alat riset untuk membantu dalam menganalisa efek angin yang bergerak di sekitar objek.

Saat ini teknologi terowongan angin mengalami perkembangan yang sangat pesat dengan berbagai jenis sesuai dengan kebutuhan. Menurut bentuknya terowongan angin ada dua jenis yang cukup dikenal, yaitu : saluran terbuka (*open circuit*) dan saluran tertutup (*closed circuit*). Tipe saluran terbuka (*open circuit*) udara mengikuti jalur lurus dari jalur masuk melalui kontraksi ke *test section*, diikuti *diffuser*, rumah *fan*, dan saluran keluar ke udara terbuka. Tipe saluran tertutup (*closed circuit*) mempunyai jalur yang kontinu untuk udara. Kedua jenis *windtunnel* tersebut memiliki perbedaan mendasar yang dapat dipahami dari segi kelebihanannya. Dalam tingkat efisiensinya, *windtunnel* pada saluran tertutup (*closed circuit*) memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan pada saluran terbuka (*open circuit*) karena, tenaga untuk menggerakkan kipas lebih kecil. Hal ini dapat dimengerti bahwa, pada sirkuit tertutup angin akan terus bergerak berputar sepanjang terowongan. Dengan demikian, fungsi kipas hanya untuk melawan kerugian tekanan angin akibat gesekan dengan dinding-dinding terowongan saja.

Dalam desain *windtunnel* saluran tertutup (*closed circuit*) terdapat elbow, dimana fungsinya untuk membelokkan aliran udara agar terus berputar didalam saluran *windtunnel*. Menurut **Gonzales (2013)**, *elbow* pada *windtunnel* menyebabkan



terjadinya kerugian tekanan pada aliran fluida. Perubahan arah aliran akibat gesekan antara fluida dengan dinding elbow memberikan kontribusi yang besar terhadap *pressure drop*. Empat *elbow 90°* pada *wind tunnel closed circuit* besar pengaruhnya lebih dari 50% terhadap total *pressure drop* yang dihasilkan. Untuk mengurangi *pressure drop* dan menghasilkan aliran yang berkualitas, pada elbow harus ditambahkan *guide vanes*. Menurut **Gonzales (2013)**, desain *guide vanes* juga berpengaruh terhadap besar pengurangan *pressure drop*. Untuk meminimalkan terjadinya *pressure drop*, desain jarak antara *guide vanes* satu dengan yang lain tidak sama atau tidak linier, melainkan secara bertahap harus meningkat dari posisi dekat *inner wall* hingga pada *outer wall*.

Iswati (2012) melakukan studi tentang pengaruh penambahan *guide vane* terhadap *pressure drop* aliran didalam *rectangular elbow 90°* dengan *reynolds number* $2,1 \times 10^5$. Metode yang digunakan adalah numerik dan eksperimen. Di dalam penelitiannya, desain jarak *guide vanes* yang digunakan adalah sama atau linier dari posisi dekat *inner wall* hingga *outer wall*. Hasil dari penelitian tersebut adalah, bahwa pengaruh penambahan dua *guide vane* justru meningkatkan penurunan tekanan (*pressure drop*) aliran, karena perbedaan C_p antara *outer wall* dengan *inner wall* yang semakin besar. **Sutardi dkk (2010)** melakukan penelitian secara eksperimen pada sebuah elbow. Elbow yang digunakan *rectangular elbow 90°* dengan 4 variasi pemasangan *guide vane* yaitu tanpa *guide vane*, satu *guide vane*, dua *guide vane*, dan tiga *guide vane*. Jarak pada setiap jumlah *guide vanes* yang digunakan sama atau linier terhadap sisi dekat *inner wall* sampai *outer wall*. *Re* aliran yang melalui elbow divariasikan menjadi $2,1 \times 10^4$, $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 . Hasil yang didapat dari eksperimen adalah, pada *Re* terkecil sebesar $2,1 \times 10^4$, penambahan *guide vane* mengurangi *pressure drop*. Hal tersebut berbanding terbalik dengan variasi *Re* aliran $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 dimana terjadi peningkatan *pressure drop* pada setiap penambahan *guide vane*.



Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat dilanjutkan dengan mengubah bentuk *elbow 90°* serta desain jarak *guide vane* yang digunakan. Penelitian yang akan dilakukan lebih mengacu pada desain *guide vane* yang dilakukan oleh Gonzales dimana jarak antar *guide vane* tidak sama atau tidak linier terhadap sisi dekat *inner wall* hingga *outer wall*. Dari desain *guide vanes* ini diharapkan mampu mengurangi *pressure drop* pada *Re* tinggi. Jenis *elbow* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *octagonal elbow 90°* dengan variasi tanpa dan dengan dua *guide vane* pada *Re* $1,8 \times 10^5$ dan $3,6 \times 10^5$.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penjelasan sebelumnya empat *elbow 90°* pada *wind tunnel closed circuit* berkontribusi lebih dari 50% terhadap total penurunan tekanan (*pressure drop*) yang dihasilkan. Penambahan *guide vane* perlu dilakukan untuk menghasilkan aliran yang berkualitas serta meminimalkan terjadinya *pressure drop* setelah melewati *elbow*.

Pada penelitian sebelumnya disebutkan, bahwa pada *Re* tinggi penambahan *guide vane* justru meningkatkan terjadinya *pressure drop*. Hal ini perlu dikaji ulang dengan mengubah desain jarak antar *guide vanes* yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Permasalahan terkait dengan aliran didalam *elbow* bisa diringkas sebagai berikut:

1. Berapa besar penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi ketika aliran udara setelah melewati *octagonal elbow 90°* pada *windtunnel closed circuit*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*)
3. Bagaimana pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap perubahan profil kecepatan aliran?
4. Bagaimana pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap intensitas turbulensi pada daerah *outlet downstream elbow 90°*?



1.3 Tujuan

Penelitian ini dilakukan untuk menjelaskan fenomena yang terjadi akibat penambahan *guide vane* pada *octagonal elbow 90°*. Jumlah *guide vane* yang digunakan sebanyak dua buah dengan jarak yang tidak seragam. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur besar penurunan tekanan aliran (*pressure drop*) ketika aliran memasuki *octagonal elbow 90°* pada *windtunnel closed circuit*.
2. Mengetahui besar pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*).
3. Mengetahui pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap perubahan profil kecepatan aliran dan mengevaluasi kemungkinan terjadinya aliran balik (*back flow*).
4. Mengetahui pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap intensitas turbulensi pada daerah *outlet downstream elbow 90°*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dapat kita ambil beberapa batasan masalah agar penelitian yang dilakukan lebih fokus. Adapun batasan masalahnya sebagai berikut:

1. Fluida yang digunakan adalah udara. Aliran fluida bersifat *incompressible*, *viscous*, dan aliran yang masuk pada *test section elbow* adalah turbulen.
2. Penelitian dilakukan pada kondisi isothermal dimana tidak terjadi perpindahan panas antara fluida dengan sistem.
3. Kekasaran pada permukaan saluran udara diabaikan.



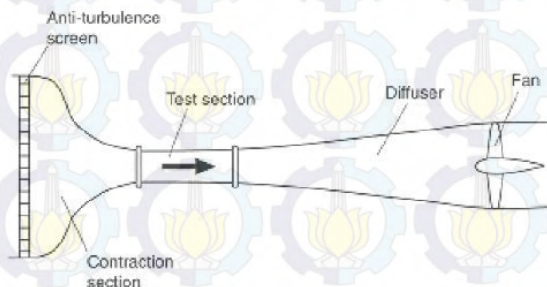
BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Terowongan Angin (*windtunnel*)

Wind Tunnel atau terowongan angin adalah salah satu perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berfungsi sebagai sebuah alat riset untuk membantu dalam menganalisa efek angin yang bergerak di sekitar objek atau model. Secara umum, terowongan angin dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu terbuka dan tertutup.

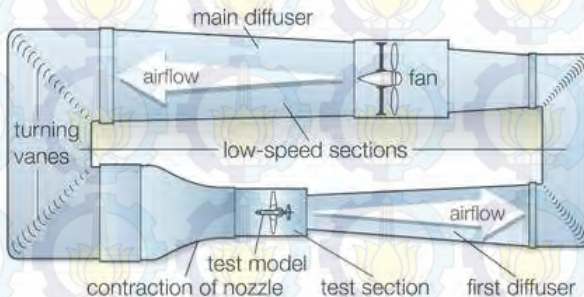
Terowongan terbuka (*Open circuit windtunnel*) mempunyai sirkuit yang terbuka di bagian depan dan belakangnya. Seperti pada gambar 2.1 komponen dari terowongan angin secara berurutan terdiri dari, *honey comb*, *nozzle*, *test section*, *diffuser*, dan *fan*. Angin yang digunakan untuk tes berasal dari udara luar yang terisap masuk ke dalam terowongan dan kemudian akan dibuang kembali ke udara luar di bagian belakang terowongan. Terowongan jenis ini punya kelemahan yang amat mengganggu yaitu sangat tergantung pada kondisi udara luar seperti kecepatan angin, serta temperatur, dan tekanan udara. Untuk ukuran tertentu dan kecepatan tertentu diperlukan lebih banyak energi untuk menjalankannya. Secara umum, berisik sehingga mengakibatkan masalah lingkungan dan membatasi jam operasi. Keuntungan dari terowongan angin ini adalah biaya konstruksinya yang rendah.



Gambar 2.1 *Open circuit windtunnel* (www.ustudy.in)



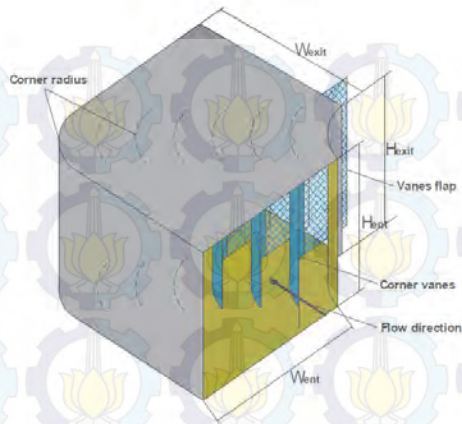
Terowongan jenis kedua adalah jenis tertutup (*closed circuit windtunnel*) seperti terlihat pada gambar 2.2. Komponen dari terowongan angin ini adalah, *honey comb*, *nozzle*, *test section*, *first diffuser*, *second diffuser*, *blower*, dan *elbow 90°*. Terowongan ini mempunyai keunggulan yang sangat penting dibanding jenis pertama yaitu tenaga untuk menggerakkan kipasnya lebih kecil. Hal ini dapat dimengerti sebab pada sirkuit tertutup tentu saja angin akan terus bergerak berputar sepanjang terowongan. Dengan demikian, fungsi kipas hanya untuk mengatasi kerugian tekanan angin akibat gesekannya dengan dinding-dinding terowongan saja. Pada bagian elbow biasanya terdapat *guide vanes* yang membuat kualitas dari aliran dapat dengan mudah dicontrol. Pengoperasiannya tidak berisik, sehingga jam operasi tidak terbatas. Adapun kekurangan dari konstruksi dari terowongan angin tertutup ini adalah biaya konstruksinya yang mahal.



Gambar 2.2 *Closed circuit windtunnel* (www.illustrationsource.com)

2.2 Desain Elbow Pada Windtunnel Closed Circuit

Terowongan angin rangkaian tertutup (*windtunnel closed circuit*) memiliki empat *elbow 90°* dimana besar pengaruhnya lebih dari 50% terhadap total *pressure drop* yang dihasilkan. Untuk mengurangi *pressure drop* dan menghasilkan aliran yang berkualitas, pada elbow harus ditambahkan *guide vanes*. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk dari *elbow* pada *windtunnel*, termasuk parameter geometris dan posisi *guide vanes*-nya



Gambar 2.3 Skema *elbow 90° windtunnel* dengan *guide vanes* (Gonzales, 2013)

Jarak pada tiap guide vanes adalah parameter desain yang penting dan perlu diperhatikan. Ketika jumlah guide vanes semakin banyak maka pressure drop akan semakin berkurang, tetapi gaya gesek semakin besar. Dalam hal, ini untuk meminimalkan terjadinya pressure drop, maka jarak antara guide vanes secara bertahap harus meningkat dari posisi dekat inner wall hingga pada outer wall. (Gonzales, 2013)

2.3 Persamaan Euler Pada Koordinat *Streamline*

Streamline merupakan sembarang garis yang dilukiskan dalam medan aliran, dimana garis singgung pada setiap titik dalam garis tersebut menyatakan arah kecepatan aliran. Setiap kecepatan aliran hanya diwakili satu streamline sehingga tidak ada aliran yang menyebrangi atau melintasi *streamline* lain. Hal ini membuat *streamline* seakan menjadi batas padat yang tidak bisa ditembus oleh aliran (*imaginary solid boundary*).

Berdasarkan gambar 2.4 gerakan partikel aliran dapat diketahui dalam koordinat *streamline* yang dibangun dari



persamaan Euler pada *inviscid flow* yang dinyatakan pada persamaan 2.1.

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p \quad (2.1)$$

Dari persamaan 2.1 dapat dijelaskan hubungan antara tekanan dengan kecepatan dari partikel fluida disepanjang *streamline*, dimana semakin besar tekanan partikel fluida maka kecepatan yang dihasilkan akan semakin kecil. Hubungan antara tekanan dan kecepatan tersebut memenuhi hukum kekekalan energi, jika aliran dianggap tanpa gesekan penjumlahan komponen tekanan dan kecepatan pada setiap titik adalah sama sehingga persamaan Euler dapat disederhanakan sebagai persamaan 2.2 dengan asumsi aliran *steady*, *body force* diabaikan, *viscous force* diabaikan dan aliran *incompressible*

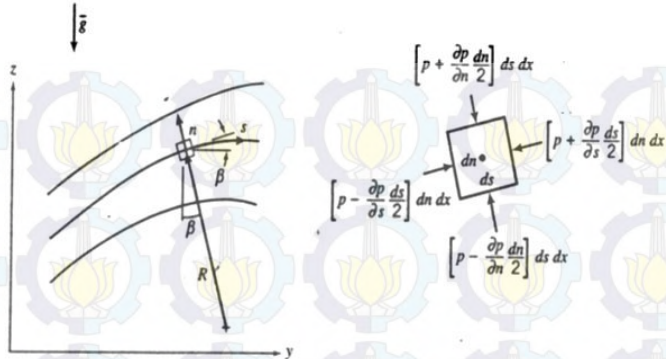
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = -V \frac{\partial V}{\partial s} \quad (2.2)$$

Pada kondisi *steady flow* dimana R adalah kelengkungan dari *streamline*, maka persamaan Euler normal dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.3)$$

Pada aliran *streamline* pada bidang horizontal efek ketinggian dapat diabaikan, sehingga persamaan dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = \frac{V^2}{R} \quad (2.4)$$



Gambar 2.4 Partikel fluida yang mengalir sepanjang streamline
(Fox dkk, 1998)

Pada persamaan 2.4 dijelaskan pengaruh dari perubahan radius kelengkungan tekanan fluida disepanjang aliran *streamline* normal (n). Semakin besar radius kelengkungan maka tekanan yang terjadi juga semakin besar. Perbedaan tekanan ini digunakan untuk mengimbangi gaya sentrifugal oleh karena itu aliran di dalam pipa lurus, tekanan pada sisi normalnya konstan. Ketika streamlinenya lurus maka tidak ada perubahan tekanan pada normal *streamline*.

2.4 Proses Terjadinya Separasi Pada *Elbow*

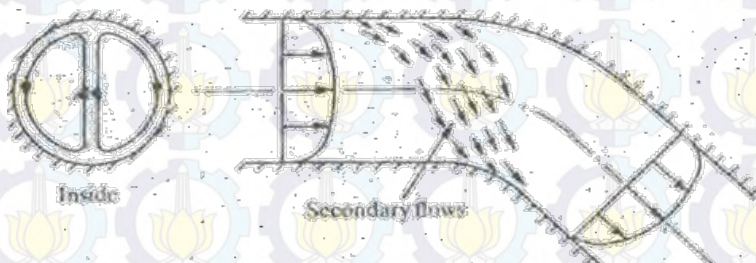
Separasi merupakan salah satu karakter aliran yang penting untuk dikaji pada *elbow* yang dapat menimbulkan terjadinya kerugian *pressure drop*. Kontak antara aliran secara kontinyu dengan dinding *elbow* menyebabkan terjadinya gesekan yang dapat mengurangi momentum dari aliran. Ketika momentum aliran tidak mampu lagi melawan gesekan dan hambatan akan terjadi tekanan balik (*adverse pressure gradient*) yang dapat merugikan yang ditunjukkan dengan perubahan besarnya kecepatan dan terjadinya *vortex* disekitar dinding *elbow*. Besarnya *vortex region* dapat merugikan karena menurunkan momentum aliran dimana luas penampang aliran utama akan



semakin kecil yang menyebabkan aliran mengalami percepatan dan menyebabkan terjadinya *pressure drop*.

2.5 Proses Terjadinya Aliran Sekunder Pada *Elbow*

Aliran sekunder didalam *elbow* merupakan fenomena aliran tiga dimensi karena terjadinya perbedaan distribusi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Perbedaan ini terjadi karena semakin kesisi luar maka tekanan statis aliran akan semakin besar sehingga pada sisi *outer wall* tekanan statisnya lebih besar dibanding sisi *inner wall*. Ketika aliran melewati dinding *elbow* aliran yang terjadi tidak sepenuhnya searah dengan *streamwise*, ini terjadi karena terdapat *boundary layer* pada sisi bawah dan samping pada *elbow*. Kecepatan aliran salah satunya bergerak searah dengan normal *streamwise* bergerak menuju *inner wall* karena tekanan statisnya lebih kecil. Pada aliran *elbow* terjadinya aliran sekunder tampak jelas terjadi pada bagian *cross section* seperti terlihat pada gambar 2.5.



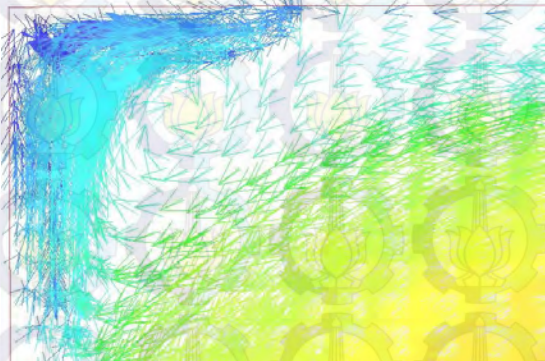
Gambar 2.5 Secondary flow (Miller, 1990)

Pada *rectangular elbow* mempunyai karakter khusus jika dibandingkan *circular elbow* dengan terjadinya aliran sekunder pada sisi *corner*. Ini terjadi karena pada *rectangular elbow* terjadi *boundary layer* pada sisi bawah dan samping sedangkan pada *sirkular elbow* tidak dijumpai. Interaksi *boundary layer* pada sisi bawah dan samping menyebabkan terjadinya aliran sekunder.

Penelitian tentang *secondary flow* juga pernah dilakukan oleh **Hakim (2008)** dengan menambah dua *guide vane* pada



rectangular elbow 90° yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Pada dasarnya penambahan *guide vane* dapat memecah aliran sekunder pada sisi *inner* dan *outer* akan tetapi dengan bertambah *guide vane* cenderung akan memperbesar terjadinya aliran sekunder pada sisi *corner* dan mengikis momentum karena akumulasi *adverse pressure gradient* dan gesekan pada dinding atas dan bawah sehingga partikel aliran pada *leading edge end wall guide vane* akan terseparasi sebelum menumbuk dinding *guide vane*.



Gambar 2.6 *Secondary flow at corner rectangular elbow 90° (Hakim, 2008)*

2.6 Coefficient of Pressure (C_p)

Coefficient of pressure pada *elbow* didefinisikan sebagai selisih antara tekanan statis lokal dengan tekanan statis acuan (referensi) dibagi dengan tekanan dinamis yang diukur pada bagian sisi *inlet elbow*. Untuk menyatakan besarnya *pressure drop* secara tidak langsung dengan menggunakan C_p . Harga C_p sebagai selisih antara *inlet* dengan *outlet* dapat menjelaskan besarnya *pressure drop* disepanjang aliran. Semakin besar selisih C_p antara *inlet* dengan *outlet* maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$C_p = \rho \frac{P_s - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2} \quad (2.5)$$

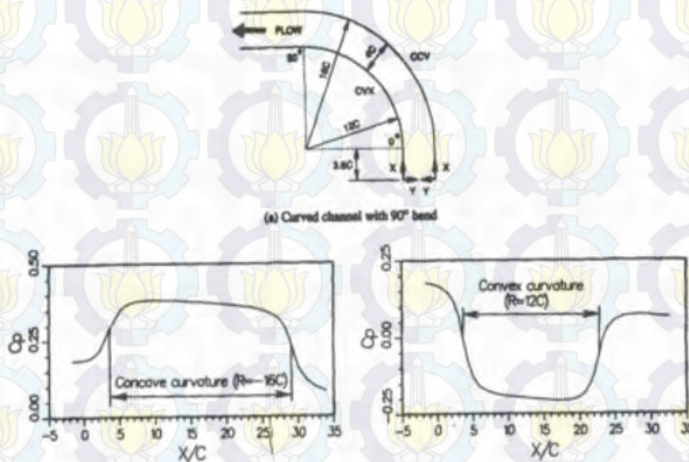


dimana:

$\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2$	= tekanan dinamis di <i>inlet elbow</i>
P_s	= tekanan statis lokal pada dinding
P_{ref}	= tekanan statis acuan (referensi)
ρ	= massa jenis fluida pada kondisi kerja
U_{ref}	= kecepatan <i>freestream</i>

2.7 Distribusi Tekanan di Sepanjang *Inner* dan *Outer Wall Elbow 90°*

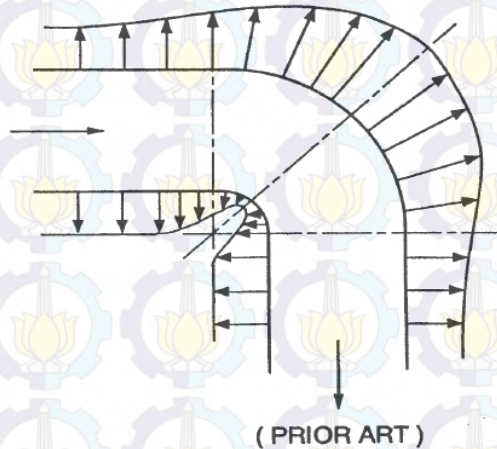
Pada penelitian terdahulu yang dilakukan **Kim dan Patel (1994)** untuk mendapatkan distribusi tekanan disepanjang *inner* dan *outer wall elbow 90°*. Pada gambar 2.7 di sepanjang sisi *outer wall* didapatkan distribusi tekanan yang mula-mula terjadi peningkatan tekanan kemudian secara perlahan terjadi penurunan, ketika melewati *outlet* terjadi penurunan secara drastis menuju permukaan datar, sedangkan pada sisi *inner wall* yang mula-mula didapatkan distribusi tekanan yang mengalami penurunan tekanan, ketika melewati *outlet elbow* mengalami kenaikan secara perlahan.



Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada *curved wall* (a) *concave wall*; (b) *convex wall* (Kim dan Patel, 1994)



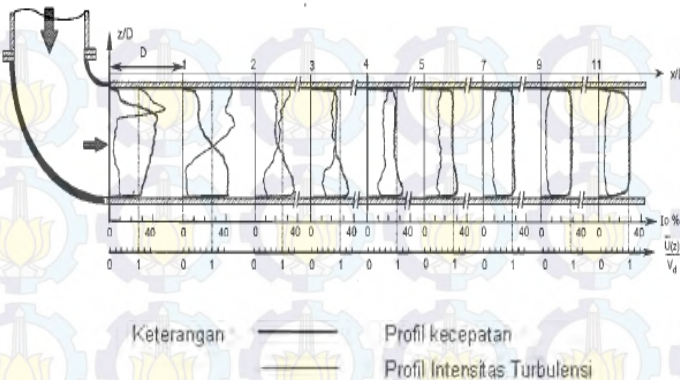
Cheng (1994) juga melakukan penelitian tentang distribusi tekanan di sepanjang sisi *inner wall* dan *outer wall elbow* 90° . Pada gambar 2.8 terlihat bahwa sisi *inner wall* serta *outer wall* terjadi kenaikan tekanan (*adverse pressure gradient*)



Gambar 2.8 Distribusi tekanan pada *curved pipe* (Cheng, 1994)

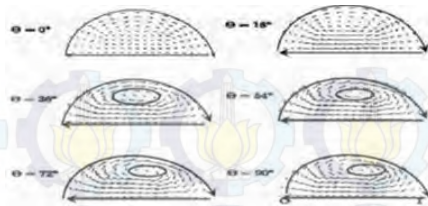
2.8 Karakteristik Aliran Didalam Elbow

Penelitian selanjutnya dilakukan **Danbon dan Sollic** (2006) mengenai profil kecepatan pada daerah *downstream circular elbow* 90° . Dari hasil penelitian terdapat perbedaan distribusi tekanan dan kecepatan, dimana *outer wall* memiliki nilai yang lebih besar dibanding *inner wall*. Ini menyebabkan partikel fluida yang bergerak dari *outer wall* ke *inner wall* dapat menghambat laju aliran fluida. Hal ini menyebabkan terjadinya aliran sekunder (*secondary flow*) yang dapat menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*). Profil kecepatan aliran setelah melewati *elbow* dapat dilihat pada gambar 2.9.

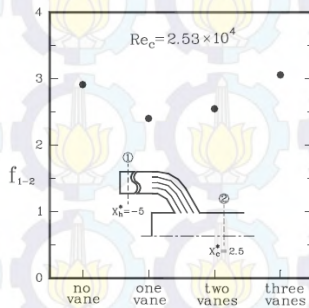


Gambar 2.9 Profil kecepatan dan intensitas turbulensi pada *downstream elbow* (Danbon dan Sollicec, 2000)

Penelitian mengenai aliran sekunder (*secondary flow*) pernah dilakukan **Marn dan Primos (2006)** dengan melakukan studi numerik menunjukkan bahwa terjadi perbedaan distribusi tekanan di *outer wall* dan *inner wall*. *Outer wall* memiliki distribusi tekanan yang lebih besar dibandingkan *inner wall*. Perbedaan distribusi tekanan inilah yang dapat menyebabkan terjadinya aliran sekunder (*secondary flow*) pada masing-masing *cross section elbow*, mulai dari *inlet elbow* pada posisi 0° sampai *outlet elbow* pada posisi 90° yang ditunjukkan pada gambar 2.10 (a). Untuk mengurangi terjadinya aliran sekunder (*secondary flow*) dilakukan pemasangan *guide vane* pada pipa circular elbow 90° untuk fluida *non newtonian*. Penelitian dilakukan pada masing-masing *cross section*, dimana *secondary flow* merupakan gerakan sepasang *vortex* dari *outer wall* menuju *inner wall*. Dari hasil penelitian yang ditunjukkan gambar 2.10 (a) vortex mulai muncul pada posisi 36° dan mulai terdeformasi pada posisi 90° .



(a)



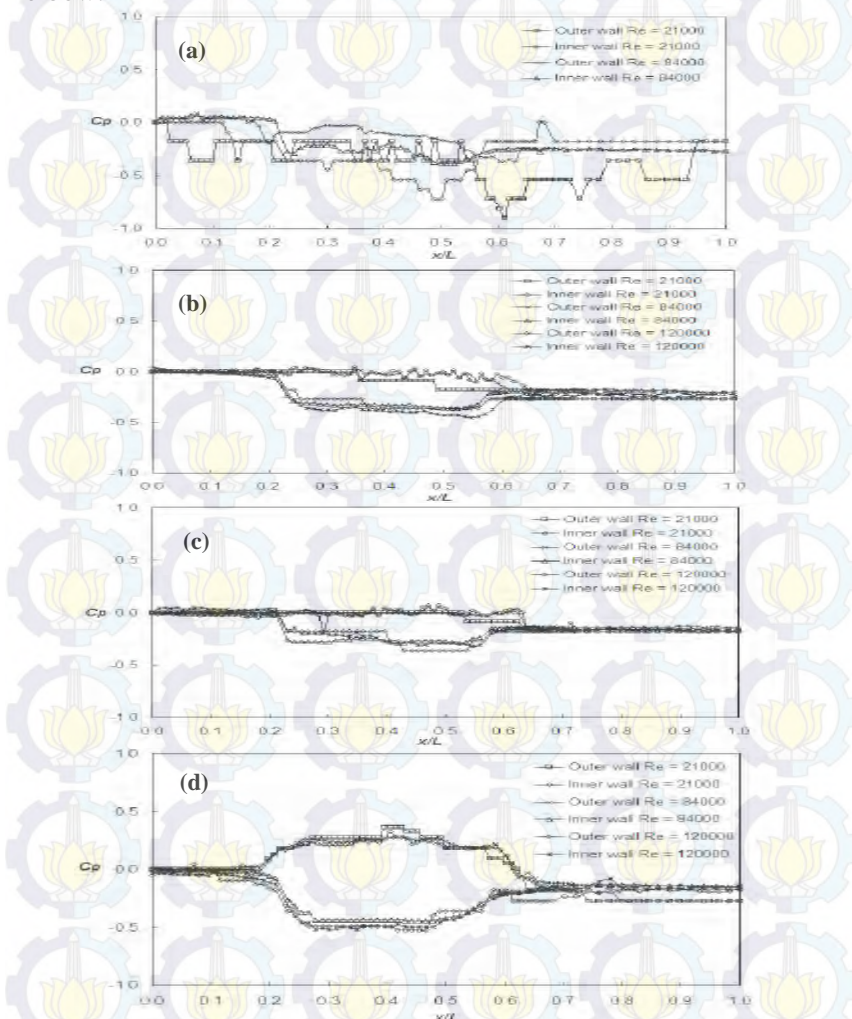
(b)

Gambar 2.10 (a) *Secondary flow* pada masing-masing *cross section elbow 90°* (Marn dan Primoz, 2006) (b) Variasi *friction factor* dengan penambahan *guide vane* (Liou et al, 2001)

Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian secara eksperimen pada sebuah elbow. Elbow yang digunakan berbentuk *rounded* dan *rectangular* dengan 4 variasi pemasangan guide vane yaitu tanpa guide vane, satu guide vane, dua guide vane, dan tiga guide vane. *Re* aliran yang melalui elbow divariasikan menjadi 2.1×10^4 , 8.4×10^4 dan 12×10^4 . Hasil yang didapat dari eksperimen adalah, pada *Re* terkecil sebesar 2.1×10^4 , penambahan guide vane mengurangi *pressure drop*. Hal tersebut berbanding terbalik dengan variasi *Re* aliran 8.4×10^4 dan 12×10^4 dimana terjadi peningkatan *pressure drop* pada setiap penambahan guide vane. Fakta tersebut terlihat pada gambar 2.11. Selain itu, penambahan guide vane pada setiap variasi *Re* juga berhasil mengurangi turbulensi aliran. Kesimpulan tersebut diambil



dengan memperhatikan fenomena pada data C_p sepanjang inner dan outer elbow serta profil kecepatan pada bagian downstream elbow.



Gambar 2.11 : Profil Tekanan aliran pada setiap variasi Re (a) 3 Guide Vane, (b) 2 Guide Vane, (c) 1 Guide Vane, (d) Tanpa Guide Vane (Sutardi dkk, 2010)



Dari distribusi C_p pada gambar 2.11 perbandingan data kuantitatif pengaruh penambahan guide vane terhadap pressure drop dapat dijelaskan pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Pengaruh penambahan guide vane terhadap pressure drop
(Sutardi dkk, 2010)

Re_{Dh}	Number of Guide Vanes	Δp (N/m ²)	Δp (%)
21000	0	4.01	-
	1	2.67	-33.42%
	2	2.73	-31.92%
	3	2.71	-32.42%
84000	0	36.07	-
	1	37.40	3.69%
	2	51.12	41.72%
	3	74.59	106.79%
120000	0	79.11	-
	1	88.66	12.07%
	2	118.22	49.44%
	3	-	-

2.9 Intensitas Turbulensi

Turbulensi merupakan fluktuasi irregular pada gerak atau aliran fluida di dalam medan aliran. Fluktuasi tersebut biasanya terjadi dalam tiga komponen kecepatan dan tidak sulit diprediksi secara detail. Turbulensi muncul dalam waktu sesaat di dalam ruang dan terjadi pencampuran- pencampuran properties fluida sebagai akibat dari gradien tekanan. Gradien tekanan ini terjadi didalam ruang dan dipengaruhi faktor lingkungan. Lingkungan aliran biasanya merupakan batas aliran seperti permukaan datar, sudut tajam atau benda menghalangi aliran dimana permukaan tersebut menghasilkan gradient tekanan sebagai akibat viskositas fluida.

Intensitas turbulensi merupakan derajat keturbulensian alirandi dalam suatu alat uji. Dalam suatu penelitian tidak



diinginkan intensitas turbulensi yang besar karena dapat mempengaruhi hasil penelitian. Hal ini mengakibatkan perlu adanya upaya untuk mengurangi intensitas turbulensi agar didapatkan data hasil penelitian yang akurat. Salah satu upaya untuk mengurangi intensitas turbulensi ialah dengan menempatkan screen pada sisi inlet inlet setelah melewati honeycomb pada wind tunnel.

Pada suatu closed circuit wind tunnel, intensitas turbulensi sangat vital dan perlu diperhatikan. Hal ini dikarenakan pada rangkaian instalasinya terdapat beberapa bagian dengan luas penampang yang berbeda. Persamaan untuk mengukur intensitas turbulensi ialah :

$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\% \quad (2.6)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (2.7)$$

dimana :

IT : Intensitas turbulensi

U_n : Kecepatan pada waktu tertentu (m/s)

\bar{U} : Kecepatan rata-rata (m/s)

u' : Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

n : Jumlah data



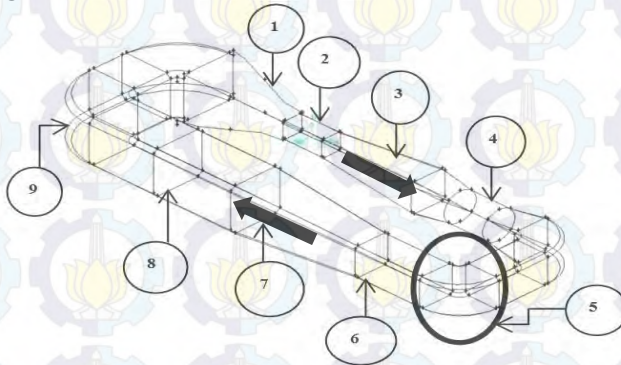
BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas metode penelitian yang digunakan, yaitu metode penelitian secara eksperimen. Pembahasan meliputi instalasi dan test section penelitian, peralatan pendukung penelitian, analisa dimensi, prosedur pengambilan data, serta langkah-langkah dalam pengelolaan data.

3.1 Instalasi Penelitian

Instansi penelitian berupa benda uji (test section) dan peralatan pendukung seperti *nozzle*, *elbow*, *difuser*, *fan* dan *connector*. Instalasi penelitian memiliki spesifikasi umum dengan dimensi total panjang 6490 mm, lebar 2250 mm dan tinggi 770 mm. Skema instalasi penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan gambar



Arah aliran

- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| 1. Nozel, honey comb dan screens | 6. Connector |
| 2. Test section 1 | 7. Diffuser 2 |
| 3. Diffuser 1 | 8. Test Section 2 |
| 4. Fan | 9. Elbow Besar |
| 5. Elbow kecil | |



Instalasi penelitian terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu :

1) Fan Axial

Fan Axial digunakan sebagai pembangkit aliran udara di dalam instalasi. Spesifikasi fan axial yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Merk : SAD-500/10/4/2
- Tipe : Direct Axial Fan
- Kapasitas : 15000 m³/hr
- Daya : 4 kW
- Putaran : 2800 rpm

2) Honey Comb, Screen dan Nozzle

Nozzle berfungsi untuk menambah kecepatan aliran sebelum memasuki *test suction* . Didalam *nozzle* terdapat *screen* dan *honeycomb* yang berfungsi untuk menjadikan aliran mendekati uniform dan mengurangi turbulensi aliran ketika memasuki instalasi *test suction*

3) Model Uji

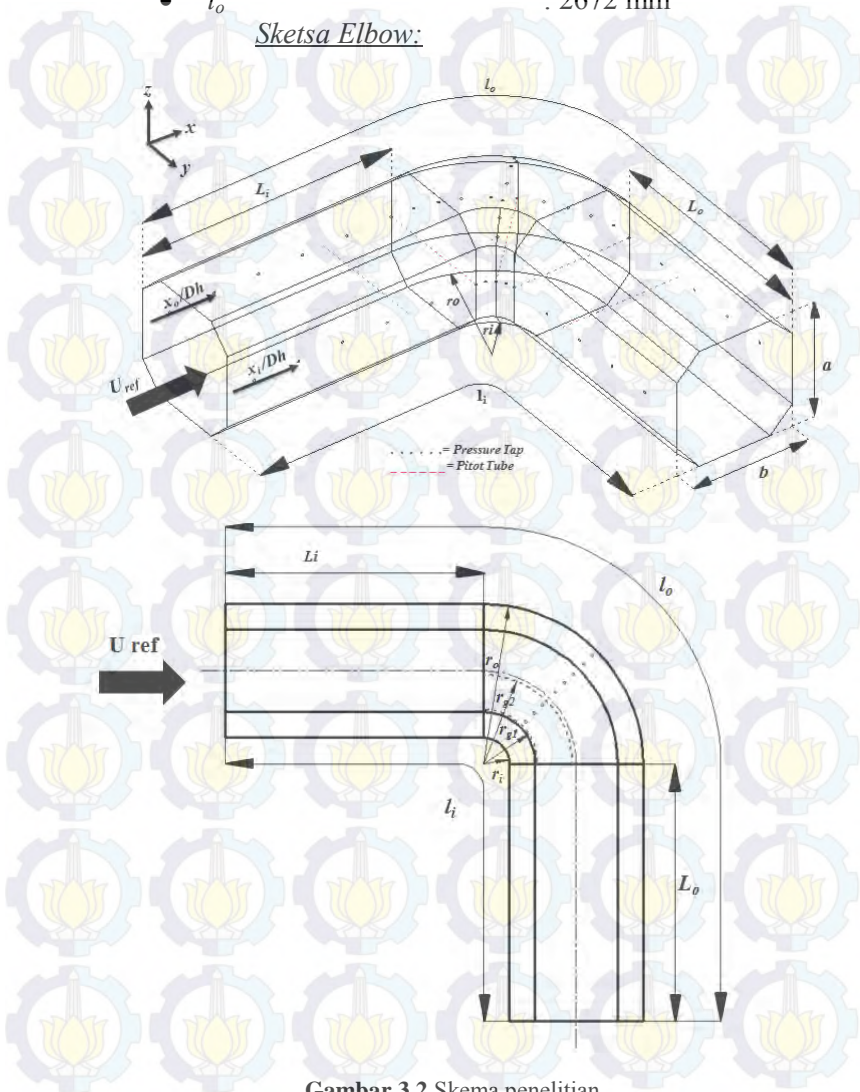
Pada penelitian ini digunakan model uji, yaitu *octagonal elbow* (No.5 pada skema instalasi gambar 3.1) dengan penambahan dua *guide vane*. Model uji ditunjukkan pada gambar 3.2 degan spesifikasi sebagai berikut :

- *Elbow* : *Octagonal elbow 90°*
- Bahan : Akrilik dan triplek
- Tebal : 6 mm
- U_{ref} : 5,5 m/s dan 11 m/s
- L_i (panjang inlet *elbow*) : 700 mm
- L_o (panjang outlet *elbow*) : 1000 mm
- r_i (inner radius) : 100 mm
- r_o (outer radius) : 619 mm
- a (tinggi) : 519 mm
- b (lebar) : 519 mm
- D_h (diameter hidrolis) : 542 mm



- l_i : 1857 mm
- l_o : 2672 mm

Sketsa Elbow:



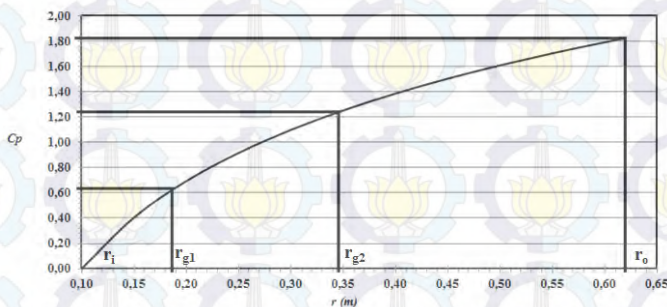
Gambar 3.2 Skema penelitian



4) *Guide vane*

Dalam eksperimen ini, elbow dilengkapi dengan dua guide vane. Guide vane diposisikan dekat dengan inner elbow untuk mengurangi separasi aliran yang terjadi di daerah yang mengalami tekanan yang besar. Jumlah Guide vane disesuaikan untuk mempermudah teknis pembuatan alat. Selain itu, dua guide vane dipilih dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya.

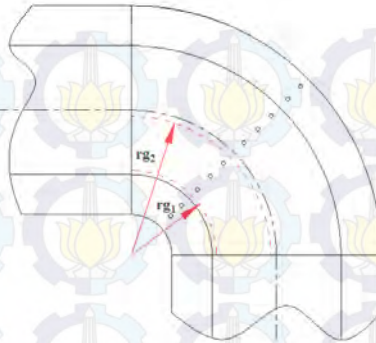
Melalui persamaan Euler (persamaan 2.4) dapat diplot sebuah grafik hubungan antara *coeffisien of pressure* (C_p) dan *radius* dari titik pusat (r) yang ditunjukkan pada gambar 3.3. C_p dibagi menjadi tiga region yang sama besar menandakan tiga daerah dengan besar koefisien tekanan yang sama.



Gambar 3.3 Plotting posisi *guide vane* 1 dan 2 dari grafik hubungan antara C_p dengan r

Dari grafik tersebut didapatkan posisi *guide vanes* 1 (r_{g1}) sebesar 185 mm dan *guide vanes* 2 (r_{g2}) sebesar 345 mm dari titik pusat. Skema posisi guide vane terlihat pada gambar 3.4 dengan spesifikasi desain sebagai berikut:

- bahan : Kertas karton
- tebal : 4 mm
- θ (sudut rentang) : 90°
- r_{g1} (*guide vane 1 radius*) : 185 mm
- r_{g2} (*guide vane 2 radius*) : 340 mm



Gambar 3.4 Skema posisi guide vane

3.2 Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

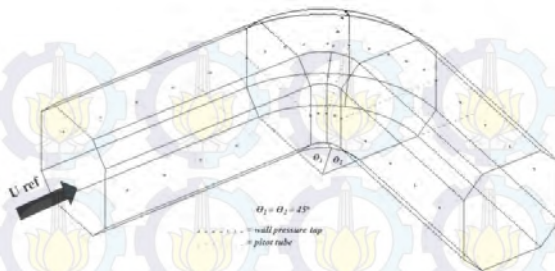
- *Stagnation pressure tube (Pitot tube)*

Pitot tube digunakan untuk mengukur tekanan stagnasi dengan diameter luar sebesar 0,7 mm berfungsi untuk mengukur tekanan stagnasi aliran pada setiap titik yang telah ditentukan didalam model uji. Pergeseran titik pengukuran secara horizontal pada setiap cross section yang sama dilakukan secara manual dengan skala pengukuran tertentu. .

- *Wall pressure tap*

Wall pressure tap digunakan untuk mengukur tekanan statis, pemasangannya di sepanjang dinding lokasi pengukuran. Pressure tap berbentuk lubang-lubang kecil berdiameter 5 mm. Selain itu, pressure tap, juga dipasang pada sisi dinding atas elbow.

Skema pemasangan *wall pressure tap* dan *pitot tube* ditunjukkan sesuai pada gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3.5 Skema Pemasangan *wall pressure tap* dan *pitot tube*

Jumlah *wall pressure tap* disesuaikan dengan kondisi tekanan pada setiap section. Pada bagian elbow dipasang 8 *pressure tap* pada outer dan 3 pada inner sedangkan pada bagian outlet dan inlet dipasang 4 untuk outlet dan 5 untuk inlet. Posisi pengukuran *pressure tap* dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Posisi pengukuran *pressure tap* pada *octagonal elbow 90°*.

Inner Wall		Outer Wall	
Section	Jarak tiap <i>pressure tap</i> (mm)	Section	Jarak tiap <i>pressure tap</i> (mm)
Inlet (upstream)	150	Inlet (upstream)	150
Elbow 90	50	Elbow 90	100
Outlet (downstream)	100	Outlet (downstream)	100

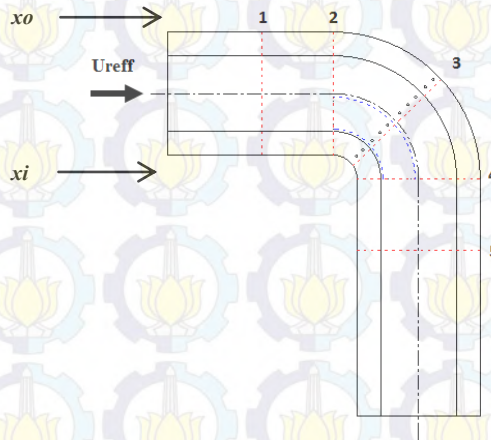
Untuk mengetahui profil kecepatan aliran, maka test section (elbow) dibagi menjadi 4 section yang akan dijadikan posisi peletakan *pitot tube*. Pada tabel 3.2 dan gambar 3.6 akan



ditunjukkan beberapa lokasi yang akan diteliti untuk mendapatkan profil kecepatan.

Tabel 3.2 Lokasi perhitungan untuk profil kecepatan

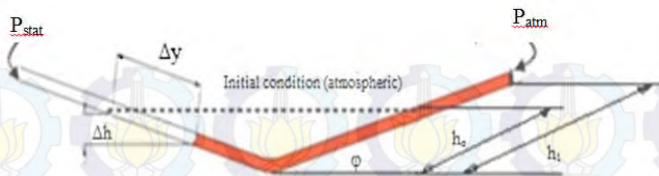
Section	x_i (mm)	x_o (mm)	x_i/l_i	x_o/l_o
1	367	367	0,20	0,14
2	700	700	0,37	0,26
3	779	1186	0,42	0,44
4	857	1672	0,46	0,62
5	1062	1877	0,57	0,70



Gambar 3.6 Lokasi Perhitungan untuk Profil Kecepatan

- *Inclined manometer (Manometer V) dan Mistar*

Manometer digunakan sebagai pembaca tekanan yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube*. *Manometer* yang digunakan mempunyai kemiringan sebesar 10° yang bertujuan untuk mempermudah pembacaan Δh . *Manometer* digunakan sebagai pembaca tekanan statis dan stagnasi yang terukur melalui *wall pressure tap* dan *pitot tube* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Inclined manometer*

Spesifikasi manometer yang digunakan sebagai berikut:

- Skala minimum : 1 mm
- Fluida kerja : *Red oil* (SG = 0,827)
- Kemiringan : 10°

- *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk mengukur temperatur udara di dalam ruangan.

- *Transducer* tekanan dan data akuisisi

Berikut spesifikasi *Transducer* yang akan digunakan dalam percobaan ini :

- Untuk mengukur intensitas turbulensi

Model : PX65-05BDI

Range : $\pm 1''$ WC

Akurasi: 0.25 % FS (*Fullscale*)

Output : 4 – 20 mA

Excitation : 13 – 36 Vdc

Ser.no. : 3030238423

- Untuk mengukur C_p dan U/U_{max}

Model : PX653-0.505V

Range : $\pm 1''$ WC

Akurasi: 0.25 % FS (*Fullscale*)

Output : 1-5 VDC

Supply : 13 – 36 Vdc

Ser.no. : X13290059



3.3 Analisa Dimensi Parameter-Parameter yang Dianalisa

Analisa dimensi diperlukan untuk mengetahui apakah suatu parameter berpengaruh terhadap suatu eksperimen. Hubungan antara parameter yang saling mempengaruhi ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi. Metode analisa ini dikenal dengan *Buckingham Pi Theorem*. Dalam skema penelitian pada gambar 3.2, parameter-parameter yang mempengaruhi karakteristik aliran di dalam *elbow 90°* yang dilengkapi dengan sudu pengarah (*guide vanes*).

- Δp : perbedaan tekanan statis lokal dan referensi (N/m^2)
- ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)
- μ : viskositas absolut fluida (kg/(m.s))
- U_{ref} : kecepatan *freestream* di *inlet elbow 90°* (m/s)
- u : kecepatan lokal (m/s)
- a : tinggi *cross section elbow 90°* (m)
- b : lebar *cross section elbow 90°* (m)
- r : posisi pada arah normal terhadap *streamline elbow 90°* (m)
- r_i : *inner radius* (m)
- r_o : *outer radius* (m)
- r_{g1} : *guide vanes 1 radius* (m)
- r_{g2} : *guide vanes 2 radius* (m)
- r : posisi pada arah normal terhadap *streamline elbow 90°* (m)
- x_i : posisi searah *streamline* pada dinding dalam *elbow 90°* (m)
- x_o : posisi searah *streamline* pada dinding luar *elbow 90°* (m)
- l_i : panjang total *inner* searah *streamline elbow 90°* (m)
- l_o : panjang total *outer* searah *streamline elbow 90°* (m)
- D_h : diameter hidrolik saluran (m)
- L_i : panjang *inlet elbow 90°* (m)
- L_o : panjang *outlet elbow 90°* (m)

Dengan menganggap Δp dan u sebagai *dependent variable* maka dapat dituliskan persamaan 3.1 sebagai berikut:



$$\Delta p = f_1 \left(\begin{matrix} \rho, \mu, b, a, r, r_i, r_o, r_{g1}, r_{g2}, x_i, x_o, \\ l_i, l_o, L_i, L_o, U_{ref}, D_h \end{matrix} \right) \quad (3.1)$$

$$u = f_2 (\rho, \mu, b, a, r, r_i, r_o, r_{g1}, r_{g2}, x_i, x_o, l_i, l_o, L_i, L_o, U_{ref}, D_h)$$

Dari persamaan 3.1 didapatkan parameter berdimensi ($n = 18$) sebagai berikut :

$$\Delta p, \rho, \mu, b, a, r, r_i, r_o, r_{g1}, r_{g2}, x_i, x_o, l_i, l_o, L_i, L_o, U_{ref}, D_h \quad (3.2)$$

$$u, \rho, \mu, b, a, r, r_i, r_o, r_{g1}, r_{g2}, x_i, x_o, l_i, l_o, L_i, L_o, U_{ref}, D_h \quad (3.3)$$

Dipilih repeating parameter ($m = r = 3$) yang diperoleh dari parameter berdimensi ρ, U_{ref} dan D_h . Dari analisa dimensi akan diperoleh 15 grup tak berdimensi ($n-m = 15$) pada masing-masing *dependent variable* Δp dan u sebagai berikut:

- *Dependent variable* Δp

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{\Delta p}{\rho \cdot U_{ref}}; \Pi_2 = \frac{\mu}{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}; \Pi_3 = \frac{a}{D_h}; \Pi_4 = \frac{b}{D_h}; \Pi_5 = \frac{r}{D_h}; \Pi_6 \\ &= \frac{r_i}{D_h}; \Pi_7 = \frac{r_o}{D_h}; \Pi_8 = \frac{r_{g1}}{D_h}; \Pi_9 = \frac{r_{g2}}{D_h}; \Pi_{10} = \frac{x_o}{D_h}; \Pi_{11} = \frac{x_i}{D_h}; \Pi_{12} \\ &= \frac{l_i}{D_h}; \Pi_{13} = \frac{l_o}{D_h}; \Pi_{14} = \frac{L_i}{D_h}; \Pi_{15} = \frac{L_o}{D_h} \end{aligned} \quad (3.4)$$

- *Dependent variable* u

$$\begin{aligned} \Pi_{16} &= \frac{u}{U_{ref}}; \Pi_{17} = \frac{\mu}{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}; \Pi_{18} = \frac{a}{D_h}; \Pi_{19} = \frac{b}{D_h}; \Pi_{20} = \frac{r}{D_h}; \\ \Pi_{21} &= \frac{r_i}{D_h}; \\ \Pi_{22} &= \frac{r_o}{D_h}; \Pi_{23} = \frac{r_{g1}}{D_h}; \Pi_{24} = \frac{r_{g2}}{D_h}; \Pi_{25} = \frac{x_o}{D_h}; \Pi_{26} = \frac{x_i}{D_h}; \Pi_{27} = \\ \frac{l_i}{D_h}; \Pi_{28} &= \frac{l_o}{D_h}; \Pi_{29} = \frac{L_i}{D_h}; \Pi_{30} = \frac{L_o}{D_h} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Sehingga dihasilkan pula fungsi persamaan tak berdimensi yaitu koefisien tekanan (C_p) dan kecepatan tak berdimensi $\frac{U}{U_{ref}}$ seperti pada persamaan 3.7 dan 3.9 sebagai berikut:



$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2} = f_1(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}, \Pi_{11}, \Pi_{12}, \Pi_{13}, \Pi_{14}, \Pi_{15}) \quad (3.6)$$

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{r}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{r_{g1}}{D_h}, \frac{r_{g2}}{D_h}, \frac{x_o}{D_h}, \frac{x_i}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}\right) \quad (3.7)$$

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_2(\Pi_{16}, \Pi_{17}, \Pi_{18}, \Pi_{19}, \Pi_{20}, \Pi_{21}, \Pi_{22}, \Pi_{23}, \Pi_{24}, \Pi_{26}, \Pi_{27}, \Pi_{28}, \Pi_{29}, \Pi_{30}) \quad (3.8)$$

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_2\left(\frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}, \frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{r}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{r_{g1}}{D_h}, \frac{r_{g2}}{D_h}, \frac{x_o}{D_h}, \frac{x_i}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}\right) \quad (3.9)$$

Dari kelompok-kelompok tak berdimensi di atas, parameter-parameter yang dianggap konstan (tidak divariasikan) adalah:

$$\left(\frac{a}{D_h}, \frac{b}{D_h}, \frac{l_i}{D_h}, \frac{l_o}{D_h}, \frac{r_o}{D_h}, \frac{r_i}{D_h}, \frac{r_{g1}}{D_h}, \frac{r_{g2}}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}, \frac{L_o}{D_h}\right) \quad (3.10)$$

Parameter yang dianggap konstan dapat dikeluarkan dari fungsi persamaan tak berdimensi. Pada penelitian ini digunakan angka *Reynolds* yang didasarkan pada U_{ref} dan D_h sehingga didapat $Re_{Dh} = \frac{\mu}{\rho U_{ref} D_h}$. U_{ref} yang digunakan pada penelitian ini adalah 5,5 m/s dan 11 m/s, sehingga didapatkan *Reynolds number* sebesar $1,8 \times 10^5$ dan $3,6 \times 10^5$. Pada analisa dimensi didapatkan parameter $\frac{r}{b}$ yang dinyatakan dalam perhitungan sebagai berikut:

- *Dependent variable* Δp

$$\Pi_{13} = \frac{\Pi_5}{\Pi_4} = \frac{\frac{r}{D_h}}{\frac{b}{D_h}} = \frac{r}{b} \quad (3.11)$$



- *Dependent variable u*

$$\pi_{25} = \frac{\pi_{20}}{\pi_{19}} = \frac{\frac{r}{D_h}}{\frac{r}{D_h}} = \frac{r}{b} \quad (3.12)$$

Dalam hal ini D_h dinyatakan dalam bentuk persamaan 3.13 berikut ini:

$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{4 \times \text{Luas Permukaan sisi inlet}}{\text{keliling permukaan sisi inlet}} \quad (3.13)$$

Dari beberapa pertimbangan di atas maka persamaan 3.7 dan 3.9 dapat ditulis sesuai dengan persamaan 3.14 dan 3.15 sebagai berikut:

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2} = f_3 \left(\frac{x_i}{D_h}, \frac{x_o}{D_h}, \frac{r}{b}, Re_{Dh} \right) \quad (3.14)$$

$$\frac{u}{U_{ref}} = f_4 \left(\frac{x_i}{D_h}, \frac{x_o}{D_h}, \frac{r}{b}, Re_{Dh} \right) \quad (3.15)$$

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Iswati, berikut adalah perbandingan parameter-parameter dimensi yang terdapat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perbandingan besar parameter-parameter dimensi yang diusulkan dengan penelitian terdahulu

Penelitian Sutardi (2010)	Penelitian yang sekarang
$\frac{a}{D_h} > \frac{b}{D_h}$ Besar dimensi a tidak sama atau lebih besar dari b , dimana sisi permukaan elbow berbentuk persegi panjang.	$\frac{a}{D_h} = \frac{b}{D_h}$ Besar dimensi a dan b sama, dimana sisi permukaan elbow berbentuk persegi sama sisi.
$\frac{r_{g1} - r_i}{D_h} = \frac{1}{3}$ dan $\frac{r_{g2} - r_i}{D_h} = \frac{2}{3}$ Pembagian posisi jarak r_{g1} dan r_{g2} berturut-turut sama.	$\frac{r_{g1} - r_i}{D_h} \approx \frac{1}{6}$ dan $\frac{r_{g2} - r_i}{D_h} \approx \frac{2}{6}$ Pembagian posisi jarak r_{g1} dan r_{g2} berturut-turut tidak sama melainkan semakin meningkat.



3.4 Langkah-langkah eksperimen

Beberapa tahap yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut:

3.4.1 Prosedur Validasi Data

Ada beberapa langkah validasi yang perlu dilakukan sebelum pengambilan data, yaitu

- Validasi tekanan dinamis

Berikut langkah kerja validasi data tekanan dinamis :

1. *Pitot static* dipasang pada manometer dan *transducer*
2. Fan diatur dari 0-40 m/s dengan interval 5 m/s
3. Data diambil dari manometer dan *pressure transducer* untuk tekanan dinamik
4. Data manometer didapat Δh (mm) dan dari *transducer* didapatkan *voltage* (Volt)
5. Data tersebut dibuat grafik Δh vs arus sehingga diketahui hubungan sebagai sebuah formula.

- Validasi tekanan statis di dinding

Berikut langkah kerja validasi data tekanan statis pada dinding :

1. Wall pressure tap dipasang sepanjang dinding elbow
2. Wall pressure tap disambungkan pada manometer dan *transducer*
3. Fan diatur dari 0-40 m/s dengan interval 5 m/s
4. Data diambil dari manometer dan *pressure transducer* untuk tekanan statis
5. Dari manometer didapatkan Δh (mm) dan dari *transducer* didapatkan *voltage* (Volt)
6. Data tersebut dibuat grafik Δh vs arus sehingga dapat diketahui hubungan sebagai sebuah formula.

3.4.2 Pengambilan data kuantitatif

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi tekanan stagnasi dan tekanan statis. Sebelum melakukan pengambilan data maka perlu dilakukan pengukuran suhu ruangan terlebih



dahulu. Masing-masing pengukuran memiliki prosedur pengambilan data yang berbeda dan akan dijelaskan sebagai berikut:

1) Prosedur pengukuran tekanan dinamis

Prosedur pengukuran tekanan dinamis adalah sebagai berikut:

- a) Persiapan *test section*.
- b) Pemasangan *pitot tube* pada posisi yang ingin diukur.
- c) *Pitot tube* dihubungkan dengan *pressure transducer* dengan menggunakan selang kapiler.
- d) Posisi *pitot tube* diatur pada titik awal pengukuran pada jarak $x_o/l_o = 0.22$ dan pada jarak $r/b_y \approx 1$ artinya ujung *pitot tube* sebisa mungkin di dekatkan pada *dinding outer inlet*.
- e) Pengaturan bukaan *blower* sesuai kebutuhan
- f) Arus dari *pressure transducer* pada tekanan stagnasi dicatat.
- g) Blower dimatikan
- h) *Pitot tube* digeser searah horisontal mendekati sisi *inner elbow*.
- i) Mengulangi langkah e sampai f hingga titik tekanan stagnasi terakhir yang telah ditentukan sebelumnya.

Prosedur pengukuran tekanan statis adalah sebagai berikut:

- a) Persiapan *test section*.
- b) Penghubungan *pressure tap* yang sudah terpasang di dinding ke *pressure transducer* dengan selang kapiler.
- c) Pengaturan bukaan *blower* sesuai kecepatan *free stream* yang akan di-set
- d) Data arus dari *pressure transducer* dicatat.
- e) Selang kapiler *pressure transducer* dilepas dari *wall pressure tap* pertama kemudian dihubungkan dengan selang kapiler untuk *wall pressure tap* selanjutnya.
- f) Langkah c). sampai f). diulangi sampai didapatkan data pada posisi *pressure tap* yang terakhir di ujung *outlet elbow*



3.4.3 Pengolahan data kuantitatif

Pengolahan data dilakukan dengan membuat sebuah contoh perhitungan. Beberapa data awal yang diperlukan untuk melakukan proses perhitungan adalah:

- Diameter hidrolik elbow (D_h) : 542 mm
- Panjang *upstream* sampai *downstream*
 - inner wall (l_i) : 2157 mm
 - outer wall (l_o) : 2972 mm
- Sudut *inclined manometer* (θ) : 10°
- *Specific Gravity red oil* (SG_{redoil}) : 0,82
- Percepatan Gravitasi (g) : $9,81 \text{ m/s}^2$
- Temperatur ruangan (T) : 28°C
- Massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{ud}) : $1,182 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas kinematis udara (ν) : $1,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Massa jenis air pada $T = 28^\circ\text{C}$ (ρ_{H_2O}) : $996,4 \text{ kg/m}^3$

1) Perhitungan untuk bukaan blower

Pada eksperimen ini digunakan angka Reynolds yang didapat melalui persamaan 3.16 didapatkan kecepatan awal 5,5 m/s, dan 11 m/s.

$$Re_{DH} = \frac{\rho_{ud} U_{ref} D_h}{\mu} = \frac{U_{ref} D_h}{\nu} \quad (3.16)$$

Dimana:

- ρ_{ud} : massa jenis udara
- ν : viskositas kinematis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- μ : viskositas absolut udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- U_{ref} : kecepatan freestream pada inlet elbow ($x_i/D_h = 0$ atau $x_o/D_h = 0$)
- D_h : diameter hidraulik elbow

Untuk mendapatkan kecepatan awal (U_{ref}) sebesar 5,5 m/s dan 11 m/s dilakukan pengaturan bukaan blower secara manual melalui pengukuran nilai Δh menggunakan persamaan 3.17 sebagai berikut:



$$P_{dinamis} = \rho_{redoil} g \Delta h \quad (3.17)$$

$$\frac{1}{2} \rho_{ud} U_{ref}^2 = SG_{red oil} g \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{\rho_{ud} U_{ref}^2}{2 SG_{red oil} \rho_{H2O} g}$$

$$\Delta h = 2 \Delta y \sin \theta$$

$$\Delta y = \frac{\Delta h}{2 \sin \theta} \quad (3.18)$$

Fan yang digunakan pada eksperimen ini adalah fan axial Untuk mendapatkan kecepatan referensi (U_{ref}) sebesar 5.5 m/s dan 11 m/s dilakukan pengaturan bukaan blower dengan menggunakan wall *pressure tap* dan *stagnation pressure tube*. Kedua alat ukur tersebut kemudian dihubungkan pada *inclined manometer* secara bersamaan untuk mendapatkan tekanan dinamis. Bukaan tersebut dijadikan acuan dalam pengambilan data distribusi koefisien tekanan (C_p) dan profil kecepatan aliran.

2) Perhitungan Pressure Coefficient (C_p)

Perhitungan *wall pressure coefficient* (C_p) untuk *elbow* 90° di sepanjang sisi *inner* dan *outer wall test section* terdapat pada bagian *midspan*.

Wall pressure coefficient (C_p) dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{s,i} - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho_{ud} U_{ref}^2} \quad (3.19)$$

dimana:

- $P_{s,i}$: tekanan statis pada *inner wall* di $x/D_h = i$
- P_{ref} : tekanan statis referensi pada $x/D_h = 0$
- ρ_{ud} : massa jenis udara pada $T = 28^\circ C$



- U_{ref} : kecepatan referensi pada
- inlet section elbow ($x_i/D_h = x_o/D_h = 0$)

a) Perhitungan $P_{s,i}$

$$\Delta h = \Delta y \sin \theta$$

$$P_{s,i} = \rho_{redoil} g \Delta h = SG_{redoil} \rho_{H2O} g \Delta y \sin \theta$$

b) Perhitungan P_{ref}

$$\Delta h = \Delta y \sin \theta$$

$$P_{ref} = \rho_{redoil} g \Delta h$$

c) Perhitungan C_p

$$C_p = \frac{P_{s,i} - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho_{ud} U_{ref}^2}$$

3) Perhitungan kecepatan lokal

Profil kecepatan diukur pada sepuluh section baik pada elbow dengan dua guide vane dan tanpa guide vane. Perhitungan profil kecepatan dari inner wall pada elbow dapat ditulis sesuai persamaan 3.20 sebagai berikut:

$$u = \sqrt{\frac{2(p_o - p_s)}{\rho_{ud}}} \quad (3.20)$$

dimana:

- p_o : tekanan stagnasi yang diukur dengan stagnation pressure tube
- p_s : tekanan statis sejajar dengan stagnation pressure tube
- ρ_{ud} : massa jenis udara pada $T = 28^\circ\text{C}$
- $p_o - p_s$: tekanan dinamis



4) **Perhitungan Pressure Drop (Δp)**

Pressure drop adalah selisih tekanan *inlet* dan *outlet* pada *test section*. Sisi *inner* dan *outer* mempunyai tekanan *inlet* dan *outlet* yang hampir sama. Perhitungan p_{inlet} dan p_{outlet} sama dengan perhitungan $p_{s,i}$.

Dua parameter berupa tekanan statis dan stagnasi digunakan untuk menghitung *pressure coefficient* (C_p) dan *velocity profile*, kemudian dari parameter – parameter tersebut akan diplot grafik – grafik sebagai berikut:

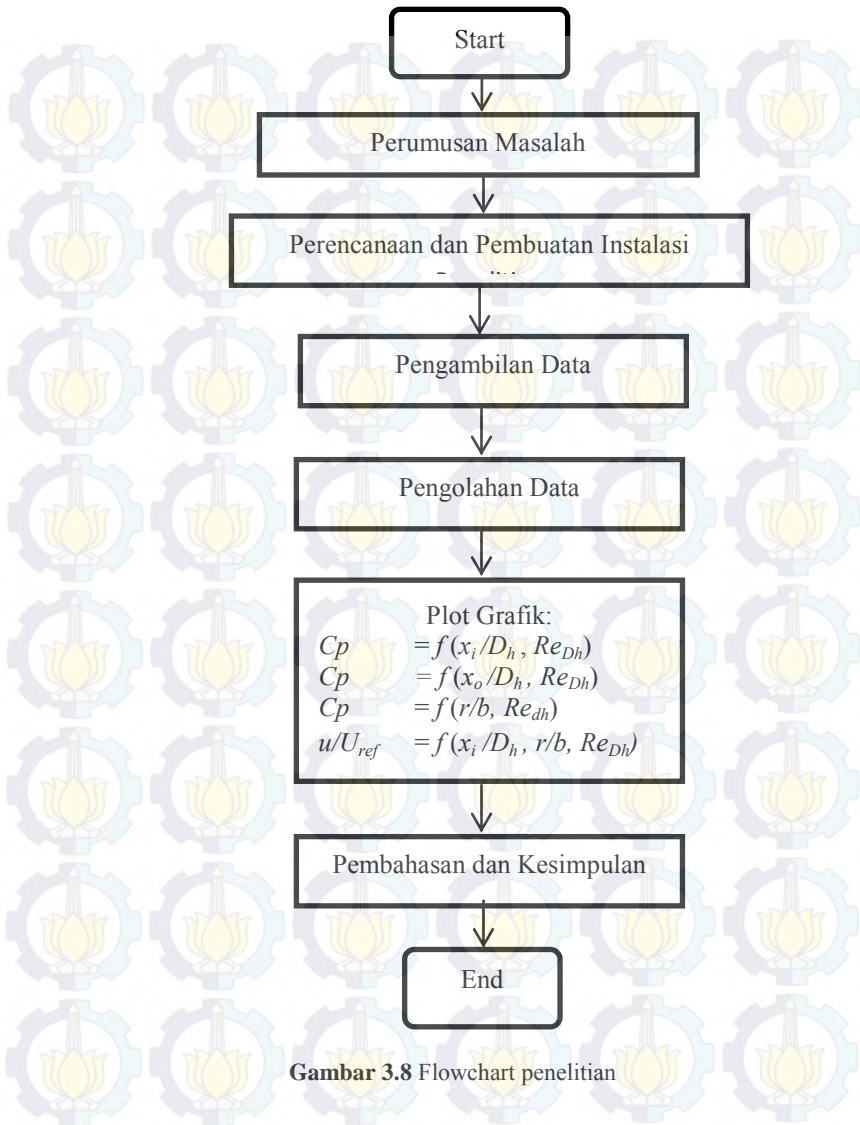
1. Grafik *pressure coefficient* (C_p) fungsi sumbu x/D_h pada *inner wall* untuk masing-masing *Reynolds number*, $C_p = f(x_i/D_h, Re_{Dh})$
2. Grafik *pressure coefficient* (C_p) fungsi sumbu x/D_h pada *outer wall* untuk masing-masing *Reynolds number*, $C_p = f(x_o/D_h, Re_{Dh})$.
3. Grafik kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) dari sisi *inner wall* pada masing-masing *Reynolds number*, $u/U_{ref} = f(x_i/D_h, r/b, Re_{Dh})$.

5) **Perhitungan Intensitas Turbulensi (IT)**

Pengambilan data Intensitas turbulensi menggunakan pitot static tube yang dipasang tepat di centerline pada sisi downstream. Analisa intensitas turbulensi ini berdasarkan sinyal kecepatan yang diambil dengan menggunakan langkah perhitungan nomor 3. Sehingga didapatkan fluktuatif kecepatan disetiap detiknya. *Intensitas turbulensi (IT)* dihitung berdasarkan persamaan (2.6) dan (2.7).

3.5 **Flowchart Penelitian**

Secara singkat prosedur penelitian eksperimen pada octagonal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan *flowchart penelitian* yang ditunjukkan pada gambar 3.8.





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan data, grafik dan penjelasan dari hasil studi eksperimen. Hasil studi ditampilkan dan dibahas dalam beberapa sub bab meliputi *pressure coefficient* (C_p), profil kecepatan pada suatu penampang, *pressure drop* dan intensitas turbulensi. Kemudian akan dilanjutkan pembahasan pada masing-masing variasi yaitu *octagonal elbow 90°* tanpa dan dengan penambahan dua *guide vane*.

Secara garis besar pembahasan hasil eksperimen pada *octagonal elbow 90°* baik tanpa dan dengan penambahan dua *guide vane*, diuraikan dengan hasil eksperimen pada bilangan *Reynolds* $1,8 \times 10^5$ dan $3,6 \times 10^5$.

Hasil analisa pada *octagonal elbow 90°* tanpa dan dengan dua *guide vane* biasa difokuskan pada distribusi *wall pressure* (C_p), distribusi profile kecepatan pada lima *section* dan aliran sekunder yang terjadi pada aliran.

4.1 Distribusi Wall Pressure Coefficient (C_p)

Untuk mendiskripsikan persamaan gerak pada aliran fluida disepanjang streamline dapat dibagi menjadi dua yaitu aliran searah *streamline* (*s*) dan tegak lurus *streamline* (*r*). Berikut ini akan dijelaskan distribusi koefisien tekanan searah dan tegak lurus *streamline*.

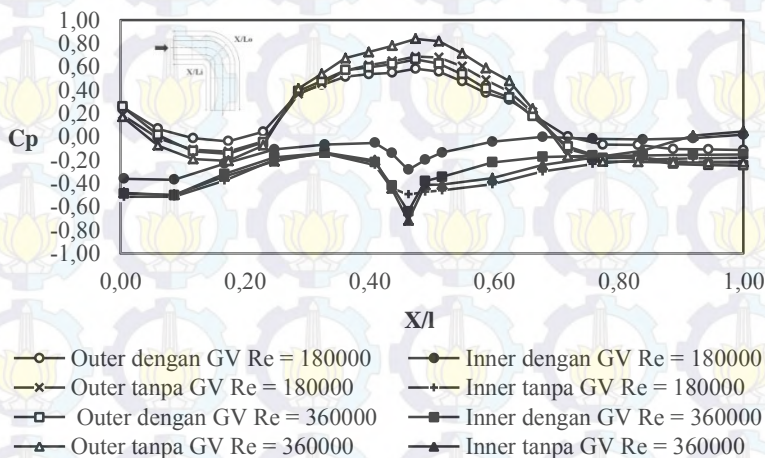
4.1.1 Searah Streamline (*s*)

Dalam pembahasan ini, grafik distribusi yang disajikan meliputi dua *elbow*, untuk variasi dengan dan tanpa 2 *guide vane* serta variasi bilangan *Reynolds*. Karakteristik aliran dijelaskan dengan mengacu kepada distribusi *wall pressure coefficient* (C_p) sebagai representasi dari distribusi tekanan.

Pada Gambar 4.1 dijelaskan hasil penelitian distribusi *wall pressure coefficient* (C_p) pada *octagonal elbow 90°* dengan dan tanpa 2 *guide vane*. Dari Gambar 4.1 terlihat nilai C_p



maksimum terdapat pada sisi outer dan nilai minimum terdapat pada sisi inner. Pada *elbow* dengan *guide vane* terlihat nilai C_p maksimum *outer wall* lebih rendah dibandingkan dengan *elbow* tanpa *guide vane*. Nilai C_p minimum *inner wall* dengan dua *guide vane* mempunyai nilai yang lebih besar dari pada tanpa *guide vane* baik pada saat $Re = 1,8 \times 10^5$ maupun $3,6 \times 10^5$. Setelah dilakukan penambahan dua *guide vane* pada aliran dengan $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $3,6 \times 10^5$ maka terjadi perubahan nilai minimum dan maksimum C_p yang mempengaruhi penurunan grafik C_p outer dan kenaikan grafik C_p inner. Hal ini menunjukkan bahwa untuk *elbow* dengan menggunakan dua *guide vane* memiliki rentang nilai C_p maksimum dan minimum yang lebih kecil dibandingkan dengan *elbow* tanpa *guide vane*.



Gambar 4.1 Grafik distribusi C_p inner dan outer wall octagonal elbow 90° tanpa dan dengan dua *guide vane* pada $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$

Perbedaan tekanan antara dinding *inner* dengan dinding *outer elbow* mengakibatkan terjadinya *secondary flow*. Distribusi C_p outer wall yang lebih besar daripada inner wall, menyebabkan partikel fluida outer wall bergerak menuju inner wall. Fenomena inilah yang dapat menghambat laju aliran



fluida. Semakin besar perbedaan nilai C_p antara *inner* dengan *outer* maka semakin besar pula potensi terjadinya *secondary flow* sebaliknya semakin kecil nilai perbedaannya maka akan semakin kecil pula potensi terjadinya *secondary flow* pada *elbow* (Adityas, 2014). Selisih antara C_p inner dan outer diambil dari nilai C_p inner terendah dan nilai C_p outer tertinggi.

Perbedaan nilai C_p antara *inlet* dan *outlet elbow* dapat direpresentasikan sebagai *minor losses coefficient* (K). Hal ini dapat dijelaskan dengan persamaan matematis yang berhubungan dengan *headloss minor* pada *elbow*:

$$\Delta C_p = C_{poutlet} - C_{pinlet} \quad (4.1)$$

$$\Delta C_p = \frac{p_{outlet} - p_{ref}}{\frac{1}{2}\rho v^2} - \frac{p_{inlet} - p_{ref}}{\frac{1}{2}\rho v^2} \quad (4.2)$$

$$\Delta C_p = \left(\frac{p_{outlet} - p_{inlet}}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2} \right) \quad (4.3)$$

$$p_{inlet} - p_{outlet} = \Delta C_p \frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 \quad (4.4)$$

$$\frac{p_{inlet}}{\rho} + \frac{\bar{v}_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_{outlet}}{\rho} + \frac{\bar{v}_1^2}{2} + gz_1 + h_{lm} \quad (4.5)$$

Asumsi:

- luas penampang sama, maka $v_1 = v_2$
- ketinggian sama pada posisi horizontal, maka $z_1 = z_2$

$$\frac{p_{inlet}}{\rho} = \frac{p_{outlet}}{\rho} + h_{lm} \quad (4.6)$$

$$\frac{p_{inlet}}{\rho} = \frac{p_{outlet}}{\rho} + K \frac{U_{ref}^2}{2} \quad (4.7)$$

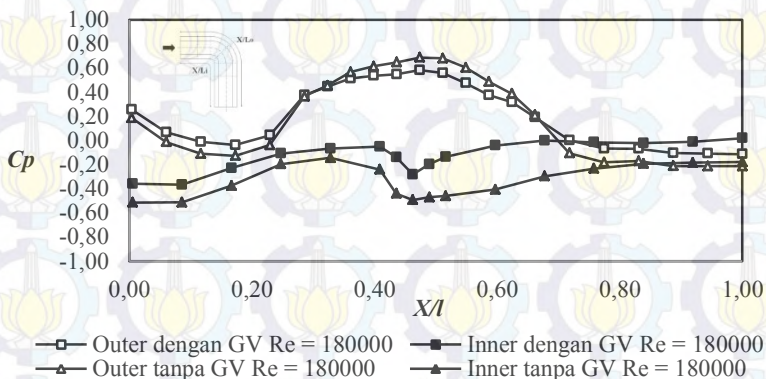
$$\frac{p_{inlet}}{\rho} - \frac{p_{outlet}}{\rho} = K \frac{U_{ref}^2}{2} \quad (4.8)$$

$$p_{inlet} - p_{outlet} = K \rho \frac{U_{ref}^2}{2} \quad (4.9)$$

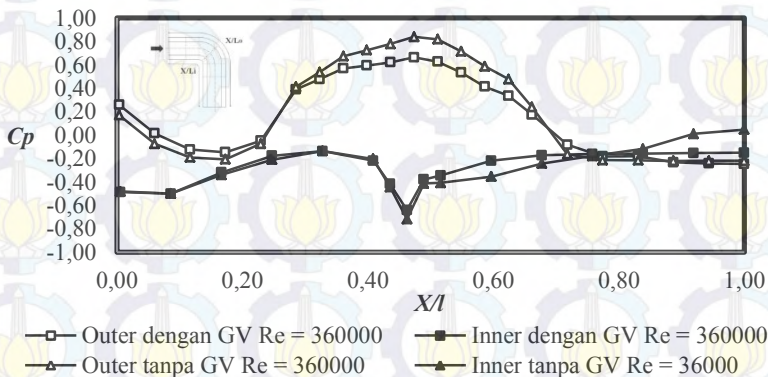
Dari persamaan-persamaan di atas nilai C_p inlet diambil dari C_p *inner* dan *outer upstream* yang pada titik $X/l_i = 0,25$ dan $X/l_o = 0,17$ kemudian dirata-rata. C_p *outlet* diambil pada daerah *downstream* dengan metode yang sama seperti pengambilan nilai C_p *inlet*, dimana terdapat pada titik $X/l_i = 0,84$ dan $X/l_o = 0,89$. Nilai P_{inlet} dan P_{outlet} diambil dengan metode yang sama seperti pengambilan nilai C_p *inlet* dan C_p *outlet*. Berdasarkan



persamaan 4.4 dan 4.7 maka dapat direpresentasikan bahwa ΔC_p secara tidak langsung menunjukkan *koefisien minor losses (K)*. Semakin kecil nilai koefisien minor maka semakin kecil juga nilai *headloss* pada *elbow* tersebut. Untuk lebih detail menganalisa pengaruh variasi guide vane terhadap distribusi C_p , maka disajikan grafik perbandingan distribusi C_p pada gambar 4.2 dan 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik perbandingan distribusi C_p inner dan outer wall octagonal elbow 90° tanpa dan dengan dua guide vane $Re = 1,8 \times 10^5$



Gambar 4.3 Grafik perbandingan distribusi C_p inner dan outer wall octagonal elbow 90° tanpa dan dengan dua guide vane $Re = 3,6 \times 10^5$



Gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan grafik perbandingan distribusi C_p tanpa dan dengan penambahan dua guide vane baik dengan variasi Re sebesar $1,8 \times 10^5$ dan $3,6 \times 10^5$. Pada $Re = 1,8 \times 10^5$ perbandingan nilai C_p tanpa dan dengan penambahan dua guide vane yang ditunjukkan pada gambar 4.2 didapatkan perbedaan pada nilai minimum pada *inner* dan nilai maksimum pada *outer*. Nilai minimum pada *inner* tanpa guide vane sebesar -0,49 dan dengan penambahan dua guide vane sebesar -0,28. Nilai maksimum pada *outer* tanpa guide vane sebesar 0,69 dan dengan penambahan dua guide vane sebesar 0,58. Dari data tersebut menunjukkan bahwa selisih C_p pada *outer* dan *inner* (ΔC_p) pada *octagonal elbow* 90° mengalami penurunan ketika ditambahkan dua guide vane.

Pada Re sebesar $3,6 \times 10^5$ perbandingan nilai C_p tanpa dan dengan penambahan dua guide vane yang ditunjukkan pada gambar 4.3 juga didapatkan perbedaan yang signifikan pada nilai minimum pada *inner* dan nilai maksimum pada *outer*. Nilai minimum pada sisi *inner* tanpa guide vane sebesar -0,72 dan pada penambahan dua guide vane sebesar -0,64. Nilai maksimum pada *outer* tanpa guide vane sebesar 0,84 dan dengan penambahan dua guide vane sebesar 0,66. Dari data tersebut dengan $Re = 3,6 \times 10^5$ menunjukkan, bahwa selisih C_p *outer* dan *inner* (ΔC_p) pada *octagonal elbow* 90° mengalami penurunan ketika ditambahkan dua guide vane.

Penjelasan data kuantitatif mengenai C_p maksimum pada *outer* dan C_p minimum pada *inner* menunjukkan adanya perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan *outer*. Perbedaan antara C_p *inner* dan *outer* yang besar berpotensi terjadi aliran sekunder yang semakin besar. Laju aliran dari sisi *outer* akan semakin cepat menuju sisi *inner*. Sehingga pusaran aliran (*vortex*) yang dihasilkan semakin besar. Hal inilah yang mengganggu aliran sehingga menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*). Berdasarkan gambar 4.2 dan 4.3 penambahan dua guide vane pada setiap variasi Re ternyata mampu mengurangi perbedaan tekanan antara sisi *inner* dan *outer*. Potensi aliran sekunder yang



sebelumnya besar, ketika ditambahkan *guide vane* terpecah dan mengalami penurunan. Hal ini mengakibatkan pergerakan aliran dari sisi *outer* menuju *inner* melambat, sehingga pusaran aliran yang dihasilkan juga mengecil. Dapat disimpulkan bahwa penambahan dua *guide vane* menghasilkan penurunan tekanan (*pressure drop*) lebih kecil jika dibandingkan tanpa *guide vane*. Perbandingan hasil eksperimen terhadap distribusi C_p *inner* dan *outer octagonal elbow* dapat dijelaskan dari data kuantitatif pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan data eksperimen distribusi C_p pada *inner* dan *outer octagonal elbow* dengan variasi *guide vane* dan bilangan Reynolds

No	Bilangan Reynolds	Jumlah <i>guide vane</i>	$\Delta C_{p(\text{inner-outer})}$	Efek penambahan <i>guide vane</i>
1	$1,8 \times 10^5$	0	1,18	-
2		2	0,86	-26,68%
3	$3,6 \times 10^5$	0	1,56	-
4		2	1,30	-16,28%

Besarnya *pressure drop* yang terjadi pada hasil eksperimen pada *octagonal elbow 90°* berpengaruh terhadap selisih antara C_p *inlet* dan *outlet*. Semakin besar selisih antara C_p *inlet* dan *outlet* maka semakin besar pula *pressure drop* yang dihasilkan. Pengaruh penambahan *guide vane* terhadap *pressure drop* dapat dijelaskan pada data tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data eksperimen pengaruh penambahan dua *guide vane* terhadap *pressure drop*

No	Bilangan Reynolds	Jumlah <i>Guide Vane</i>	$\Delta C_{p(\text{inlet-outlet})}$	Efek penambahan <i>guide Vane</i>
1	$1,8 \times 10^5$	0	0,042	-
2		2	0,030	-28,22%
3	$3,6 \times 10^5$	0	0,019	-
4		2	0,015	-21,05%



Berhubungan dengan *head loss* pada elbow, selisih C_p inlet dan outlet direpresentasikan sebagai koefisien *minor losses* (K). Pada tabel 4.3, berdasarkan perhitungan sesuai dengan persamaan 4.9 didapatkan data perbandingan koefisien *minor losses* terhadap variasi *Reynolds number* dan pengaruh penambahan *guide vane* sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data eksperimen pengaruh *Reynolds number* dan penambahan dua *guide vane* terhadap koefisien *minor losses*.

No	Bilangan Reynolds	Jumlah Guide Vane	ΔP (N/m ²)	U_{ref} (m/s)	K	Efek Guide Vane
1	$1,8 \times 10^5$	0	1,63	5,5	0,09	-
2		2	1,17	5,5	0,07	-22,22%
3	$3,6 \times 10^5$	0	2,27	11	0,03	-
4		2	1,81	11	0,02	-33,33%

4.1.2 Distribusi C_p pada Kelengkungan Elbow

Distribusi C_p searah radial atau tegak lurus *streamline* menjadi pembahasan tersendiri karena berhubungan erat dan saling melengkapi pada pembahasan distribusi C_p searah *streamline*. Hubungan radius kelengkungan pada *elbow* terhadap tekanan dapat dijelaskan dengan persamaan *euler* berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{V^2}{r} \quad (4.10)$$

dimana:

ρ : massa jenis fluida (kg/m³)

$\frac{\partial p}{\partial r}$: gradien tekanan searah radial/searah jari-jari (N/m³)

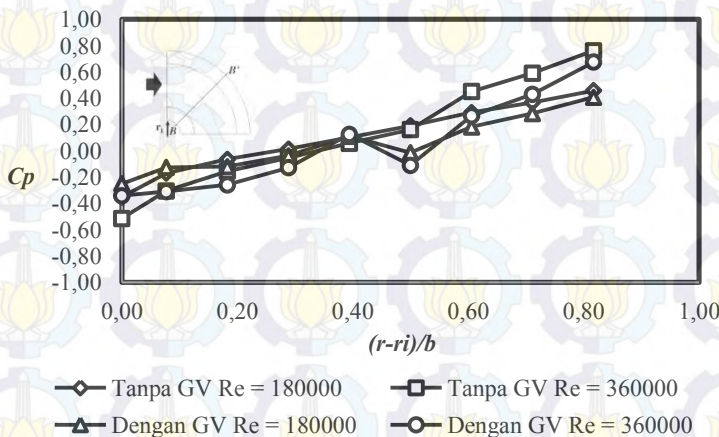
V : kecepatan fluida (m/s)

r : jari-jari kelengkungan (m).



Persamaan 4.10 menyatakan bahwa apabila suatu aliran fluida melintasi saluran yang mempunyai radius atau kelengkungan, maka tekanan fluida akan sebanding dengan jari-jari kelengkungan. Semakin besar jari-jari kelengkungan, tekanan yang dimiliki juga semakin besar, begitu juga sebaliknya.

Gambar 4.4 menyatakan grafik distribusi C_p searah radial sebagai fungsi posisi $(r-r_i)/b$, dimana r menunjukkan posisi pengukuran searah radial dan b merupakan lebar penampang saluran sebesar 520 mm. Pengukuran dimulai dari sisi 45° elbow sebagai potongan $B-B'$.



Gambar 4.4 Distribusi C_p tegak lurus *streamline* untuk tanpa dan dengan dua guide vane

Grafik distribusi C_p pada arah radial terhadap elbow yang ditunjukkan pada gambar 4.4 memberikan informasi bahwa dalam penambahan dan tanpa penambahan *guide vane* cenderung menunjukkan pola yang cukup berbeda. Pada potongan $B-B'$ elbow tanpa *guide vane* tren grafik terlihat linier, yaitu C_p minimum terdapat pada *inner* dan maksimum pada *outer*. Peningkatan nilai C_p cukup signifikan namun, perbedaan tren grafik mulai terlihat pada elbow dengan penambahan *guide*



vane. Pada titik $(r-ri)/b = 0,61$ nilai C_p mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pengaruh dinding guide vane ke-dua sebagai sisi inner pada titik daerah tersebut yang merupakan titik daerah sparasi aliran. Kemudian nilai C_p kembali meningkat secara signifikan hingga mendekati *outer wall*. Data perbandingan distribusi C_p pada arah radial terhadap elbow tanpa dan dengan dua *guide vane* dapat diperjelas di dalam tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Perbandingan data eksperimen distribusi C_p *inner* dan *outer* pada arah radial *octagonal elbow* dengan variasi *guide vane* dan bilangan *Reynolds*

No	Bilangan <i>Reynolds</i>	Jumlah <i>guide vane</i>	$\Delta C_{p(\text{inner-outer})}$	Efek penambahan <i>guide vane</i>
1	$1,8 \times 10^5$	0	0,81	-
2		2	0,66	-18,51 %
3	$3,6 \times 10^5$	0	1,27	
4		2	1,02	-18,03%

4.2 Distribusi Profil Kecepatan

Distribusi tekanan aliran yang melintasi setiap posisi di dalam *octagonal elbow 90°* akan mempengaruhi profil kecepatan yang terjadi pada posisi tersebut. Gambar 4.5 dan 4.6 memperlihatkan kondisi profil kecepatan searah radial *elbow* tanpa dan dengan dua *guide vane*. Distribusi kecepatan disajikan dalam bentuk kecepatan tak berdimensi u/U terhadap fungsi posisi horizontal tak berdimensi $(r-ri)/b$. u adalah kecepatan lokal dan U merupakan kecepatan maksimum pada section yang sama. Selanjutnya r merupakan radius kelengkungan outer sedangkan ri merupakan radius kelengkungan inner dimana $(r-ri)/b = 0$ adalah sisi inner dan $(r-ri)/b = 1$ adalah sisi outer, b didefinisikan sebagai lebar penampang elbow. Berikut ini akan dibahas perkembangan velocity profile pada *octagonal elbow 90* tanpa



guide vane setiap section yang dijelaskan dan ditunjukkan pada gambar 4.5.

Lokasi pengukuran profil kecepatan :

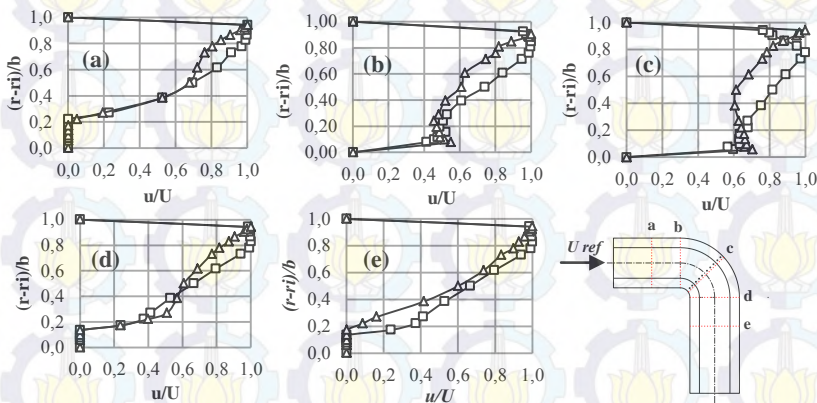
Section 1: inlet, posisi $x_i/L_i = 0,20$; $x_o/L_o = 0,14$

Section 2: inle, posisi $x_i/L_i = 0,37$; $x_o/L_o = 0,26$

Section 3: 45° elbow, posisi $x_i/L_i = 0,42$; $x_o/D_o = 0,44$

Section 4: outlet, posisi $x_i/L_i = 0,46$, $x_o/L_o = 0,62$

Section 5: outlet, posisi $x_i/L_i = 0,57$, $x_o/L_o = 0,7$



Keterangan : \square Tanpa GV $Re = 3,6 \times 10^5$ \triangle Tanpa GV $Re = 1,8 \times 10^5$

Gambar 4.5 Distribusi profil kecepatan setiap section dengan $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$ tanpa guide vane pada section a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5 dan lokasi pengukuran profil kecepatan

Pada gambar 4.5 secara umum profil kecepatan di sepanjang sisi inlet sampai outlet dijelaskan sebagai berikut: saat masuk *test section*, profil kecepatan dalam kondisi sudah tidak *uniform* melainkan terdapat *backflow* pada sisi inner. Adanya *backflow* pada profil aliran disebabkan karena pengaruh elbow sebelum memasuki inlet pada test section. Sehingga kecepatan aliran pada sisi outer lebih besar dibandingkan dengan sisi inner. Pada keluaran elbow, profil kecepatan masih menunjukkan adanya *backflow* akan tetapi profil aliran sudah mengembang dan tidak menunjukkan adanya cekungan pada bagian tengah.



Profil kecepatan *section 1* (gambar 4.5.a) pada $Re = 1,8 \times 10^5$ menunjukkan profil aliran yang sudah tidak uniform melainkan terdapat *backflow* pada sisi inner. Adanya *backflow* pada profil aliran disebabkan karena adanya pengaruh elbow sebelum memasuki inlet pada test section. Pada $Re = 3,6 \times 10^5$ profil aliran menunjukkan perkembangan pada sisi outer, namun masih terdapat *backflow* pada sisi inner. Pada *section 2* (gambar 4.5.b) profil aliran mulai menunjukkan adanya perubahan dari profil sebelumnya. Profil aliran daerah ini tidak terdapat *backflow* pada sisi *inner wall*, namun terdapat cekungan di bagian centerline. Hal ini disebabkan karena pengaruh wake akibat adanya mesin penggerak di bagian poros fan yang mengganggu aliran.

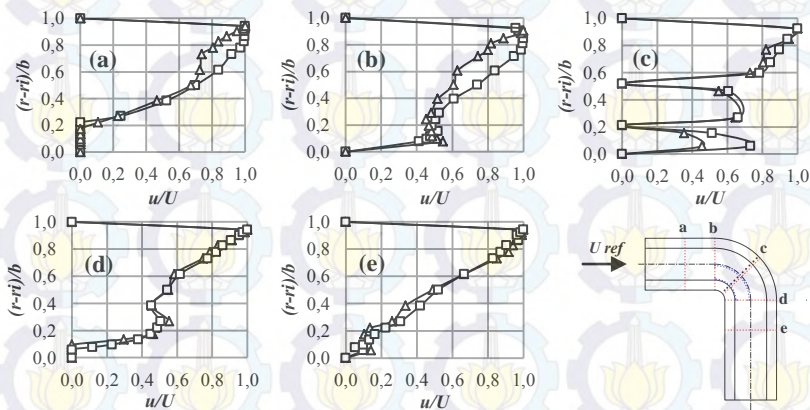
Profil kecepatan *section 3* (gambar 4.5.c) terlihat kecepatan aliran di sisi *inner wall* meningkat namun kecepatan aliran di sisi outer masih lebih tinggi. Pengaruh profil kecepatan aliran sisi *inlet* yang sudah tidak *uniform* menyebabkan ada perbedaan kecepatan yang besar antara sisi inner dan outer. Sehingga ketika melewati kelengkungan *elbow* pada sisi *outer* kecepatan aliran masih lebih tinggi dibandingkan sisi *inner*. Pada $Re = 3,6 \times 10^5$ profil aliran lebih berkembang dan mampu menangani pengaruh *wake* pada sisi *centerline*, sehingga pada bagian *centerline* profil aliran sudah tidak terlihat cekungan. Pada sisi *outer* profil kecepatan maksimum bergeser mendekati centerline yang menunjukkan profil aliran mengalir dari sisi *outer* menuju sisi *inner*. Pergerakan aliran dari sisi outer menuju sisi inner inilah yang disebut sebagai aliran sekunder.

Pada *section 4* (gambar 4.5.d) dan *section 5* (gambar 4.5.e) setelah melewati *elbow* profil aliran kembali terdapat *backflow* pada sisi inner, namun pengaruh wake sudah hilang. Hal tersebut terlihat pada profil aliran yang sudah mulai berkembang pada bagian centerline. Pada *outlet* profil kecepatan seharusnya mengalami proses *recovery* untuk menyeimbangkan aliran. Akan tetapi dalam kasus ini untuk mengembalikan aliran dalam



keadaan uniform dibutuhkan jarak yang lebih panjang pada bagian outlet untuk menganalisa profil kecepatan aliran.

Berhubungan dengan adanya backflow pada profil kecepatan aliran di section 1, 4 dan 5, dalam proses pengukuran menggunakan *pitot static tube*, besar nilai tekanan statis lebih besar daripada tekanan stagnasi. Sehingga didapatkan nilai tekanan dinamis dengan angka minus. Berdasarkan persamaan 3.20, angka minus tersebut merupakan bilangan imajiner, bila diakar kudratkan untuk mendapatkan besar nilai kecepatan pada titik tersebut. Hal inilah yang menjadi indikator perhitungan ketika di daerah *inner* tersebut terjadi *backflow*. Adapun usaha penulis untuk mengetahui bentuk profil *backflow* pada daerah tersebut, yaitu dengan mengarahkan posisi pitot static tube dalam kondisi terbalik atau searah dengan arah aliran. Namun hasilnya tetap sama seperti sebelumnya dan tidak menunjukkan sebuah profil kecepatan.



Keterangan: \square -Dengan $GV Re = 3,6 \times 10^5$ \triangle -dengan $GV Re = 1,8 \times 10^5$
Gambar 4.6 Distribusi profil kecepatan setiap section dengan $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$ dengan guide vane pada section a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5 dan lokasi pengukuran profil kecepatan



Profil kecepatan *section 1* (gambar 4.6.a) dan *section 2* (gambar 4.6.b) pada $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$ dengan penambahan *guide vane* tidak ada perbedaan dengan profil aliran tanpa *guide vane*. Pada *section* tersebut merupakan inlet yang tidak terpengaruh oleh adanya *guide vane*. Profil aliran mulai mengalami perubahan pada *section 3* (gambar 4.6.c). Hal ini disebabkan karena pengaruh adanya *guide vane*. Profil kecepatan aliran pada *section* ini terbagi menjadi tiga bagian karena terpisah dengan dinding-dinding *guide vane*. Pada bagian antara *guide vane* dengan dinding *inner* dan diantara dua *guide vane*, kecepatan aliran maksimum terletak pada bagian dekat dinding. Aliran pada daerah ini akan mengalami penurunan tekanan sepanjang aliran dan aliran fluida akan mengalami percepatan yang ditunjukkan kecepatan maksimum berada pada sisi *inner*. Pada bagian antara dinding *outer* dengan *guide vane* profil kecepatan maksimum terletak pada bagian *outer*. Hal ini menunjukkan tingginya kecepatan pada daerah *outer* dari sisi inlet masih berlaku ketika memasuki kelengkungan *elbow* dengan *guide vane* pada *section 3*.

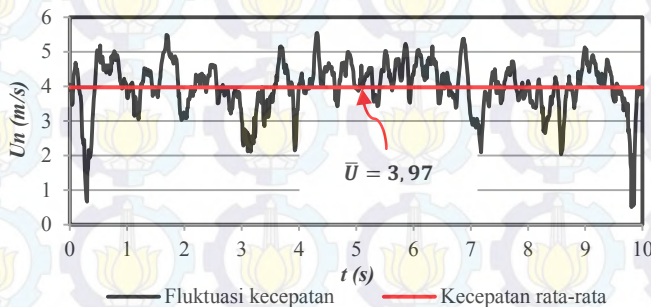
Profil kecepatan *section 4* (gambar 4.6.d) pada $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$ setelah melewati *elbow* dengan *guide vane* masih menunjukkan adanya *backflow*, namun sangat kecil jika dibandingkan dengan tanpa *guide vane*. Pada *section 5* (gambar 4.6.e) profil kecepatan aliran sudah tidak terlihat adanya *backflow*, artinya pengaruh penambahan *guide vane* mampu meminimalkan daerah *sparasi* yang terjadi pada sisi *inner*. Profil kecepatan aliran maksimum pada *section* ini terdapat pada bagian *outer* dan sangat kecil pada bagian *inner*. Dalam kondisi seperti ini profil aliran dapat kembali ke bentuk *uniform* membutuhkan jarak yang lebih panjang agar pergeseran profil kecepatan maksimum tepat berada di *center line*.

4.3 Intensitas Turbulensi

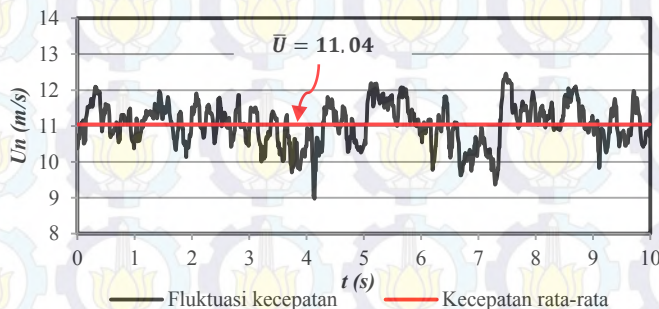
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran intensitas turbulensi pada *outlet downstream octagonal elbow* untuk



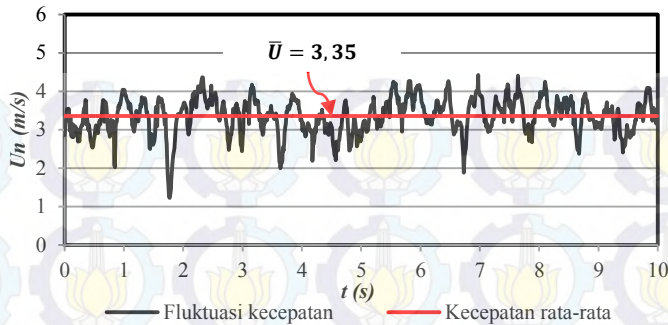
mengetahui fluktuasi kecepatan aliran ketika sebelum dan setelah ditambahkan dua *guide vane*. Perhitungan intensitas turbulensi menggunakan persamaan 2.7. Mengukur dan menghitung intensitas turbulensi pada *outlet downstream* menggunakan *pitot static tube* yang diletakkan pada posisi centerline. Alat ukur menggunakan pressure transducer dan DAQPRO yang dihubungkan dengan laptop. Setting logger pada DAQPRO pengambilan data dilakukan dengan jumlah 100 sampel/s selama 10 s dengan output dalam voltase. Kemudian dilakukan pengolahan data pada setiap variasi Re dan *guide vane* hingga didapatkan grafik kecepatan (U_n) terhadap waktu (t) seperti pada gambar 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10.



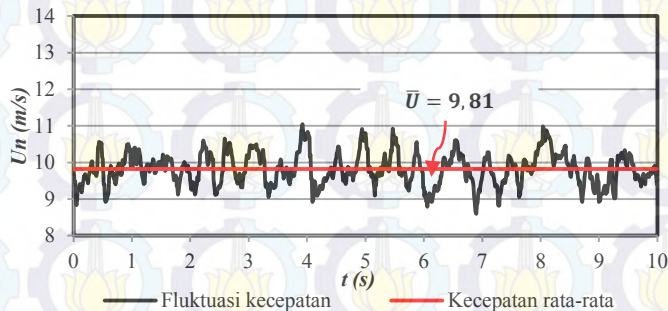
Gambar 4.7 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara tanpa penambahan *guide vane* pada $Re = 1,8 \times 10^5$



Gambar 4.8 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara tanpa penambahan *guide vane* pada $Re = 3,6 \times 10^5$



Gambar 4.9 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara dengan penambahan dua guide vane pada $Re = 1,8 \times 10^5$



Gambar 4.9 Sinyal fluktuasi kecepatan aliran udara dengan penambahan dua guide vane pada $Re = 3,6 \times 10^5$

Gambar 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara yang melewati elbow tanpa dan dengan dua guide vane selalu berfluktuasi terhadap waktu disetiap bilangan *Reynolds*. Intensitas turbulensi diperoleh dengan membagi standar deviasi fluktuasi kecepatan (u') dengan kecepatan rata-rata (\bar{U}). Dari grafik pada gambar 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 menunjukkan ada perbedaan (\bar{U}). Pada Re yang sama ketika ditambahkan dengan guide vane besar nilai (\bar{U}) mengalami penurunan. Penurunan besar kecepatan ini disebabkan karena pengaruh friction terhadap dinding-dinding guide vane. Meskipun ada penurunan kecepatan, penambahan *guide vane* ternyata



mampu menurunkan tingkat intensitas turbulensi aliran. Kemudian didapat perbandingan intensitas turbulensi ketika sebelum dan setelah ditambahkan guide vane pada setiap Re yang dijelaskan pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Perbandingan intensitas turbulensi pada variasi Re dan guide vane

Bilangan <i>Reynolds</i>	Jumlah <i>Guide Vane</i>	IT (%)	ΔIT (%)
$1,8 \times 10^5$	0	18,65%	-
	2	13,95%	25,2%
$3,6 \times 10^5$	0	5,31%	-
	2	4,51%	15,06%

Dari data tabel 4.5 dapat diketahui bahwa intensitas turbulensi pada elbow dengan penambahan guide vane masih tergolong besar yaitu pada $Re = 1,8 \times 10^5$ sebesar 13,95% dan pada $Re = 3,6 \times 10^5$ sebesar 4,5%. Intensitas turbulensi ideal pada *test section* sebuah *windtunnel* seharusnya adalah kurang dari 1% atau mendekati 0% (Mehta, 1989). Besarnya intensitas turbulensi pada *elbow* dipengaruhi oleh tidak adanya *screen* pada sisi *inlet*, adanya wake akibat pengaruh posisi mesin fan yang mengganggu aliran di bagian *centerline*, serta adanya elbow sebelum dan setelah inlet, sehingga dalam jarak yang pendek aliran mengalami perubahan arah sebanyak dua kali. Pada $Re = 3,6 \times 10^5$ intensitas turbulensinya jauh lebih kecil dibandingkan dengan $Re = 1,8 \times 10^5$. Hal ini dikarenakan pada Re tinggi, aliran lebih mampu mengatasi fluktuasi kecepatan akibat perubahan arah aliran ketika melewati *elbow*.

4.4 Perbandingan Hasil Eksperimen dari Penelitian sebelumnya

Penelitian terdahulu dilakukan oleh Sutardi dkk, 2010 mengenai pengaruh jumlah *guide vane* terhadap *pressure drop* pada *rectangular elbow 90°*. Perbandingan pengaruh dua guide



vane terhadap pressure drop dapat dijelaskan pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Perbandingan data eksperimen terdahulu pada distribusi C_p inner dan outer elbow dengan variasi dua guide vane dan bilangan Reynolds

Peneliti	Bilangan Reynolds	Jumlah guide vane	P (inlet-outlet)	$\Delta P_{(\text{inlet-outlet})}$ (%)
Sutardi dkk, 2009	$2,1 \times 10^4$	0	4.01	-
		2	2.73	-31.92%
	$8,4 \times 10^4$	0	36.07	-
		2	51.12	41.72%
	$1,2 \times 10^5$	0	79.11	-
		2	118.22	49.44%
Abel, 2016	$1,8 \times 10^5$	0	1,63	-
		2	1,17	-28,22%
	$3,6 \times 10^5$	0	2,27	-
		2	1,81	-21,05%

Dari data tabel tersebut pada penelitian terdahulu dengan $Re = 2,1 \times 10^4$ penambahan dua guide vane dapat menurunkan pressure drop, namun pada $Re = 8,4 \times 10^4$ dan $Re = 1,2 \times 10^5$ pressure drop semakin meningkat. Pada penelitian sekarang penambahan guide vane cenderung menurunkan pressure drop baik pada $Re = 1,8 \times 10^5$ dan $Re = 3,6 \times 10^5$. Perbedaan hasil eksperimen ini dapat dipengaruhi oleh bentuk dimensi elbow dan posisi guide vane. Bentuk dimensi yang digunakan pada penelitian terdahulu adalah *rectangular elbow 90°* dan pada penelitian sekarang adalah *octagonal elbow 90°*. Dibandingkan dengan *rectangular elbow 90°*, pada *octagonal elbow 90°* aliran sekunder yang dihasilkan lebih stabil. Hal ini disebabkan karena pengaruh sudut pada sisi *corner* dinding. Pada *octagonal elbow 90°* memiliki sudut *corner* yang lebih besar, sehingga *corner vortex* yang dihasilkan lebih kecil. Oleh karena itu pressure drop



akibat secondary flow pada *octagonal elbow* 90° lebih kecil dibandingkan dengan *rectangular elbow* 90° .

Penambahan guide vane terlihat dapat memecah aliran sekunder. Posisi guide vane juga berperan penting dalam menurunkan pressure drop akibat aliran sekunder. Pada penelitian terdahulu posisi setiap guide vane jaraknya disamaratakan dari dinding *inner* hingga *outer*. Pada penelitian sekarang posisi guide vane menggunakan konsep referensi dari Gonzales tentang desain *elbow* 90° pada *windtunnel closed circuit*. Konsep tersebut adalah jarak setiap guide vane tidak sama melainkan berdasarkan perhitungan pada rumus *Euler*. Konsep ini bertujuan agar pada setiap ruang antar guide vane memiliki besar tekanan yang sama. Sehingga tidak ada kesenjangan tekanan antara sisi *inner* dan *outer* yang menimbulkan pressure drop akibat aliran sekunder. Dibandingkan penelitian terdahulu, pada penelitian sekarang konsep desain guide vane lebih efektif untuk menurunkan pressure drop akibat aliran sekunder.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pembahasan studi eksperimen *guide vane* terhadap *pressure drop* aliran di dalam *octagonal elbow 90° Closed Circuit Wind Tunnel* telah menghasilkan data-data kuantitatif. Penelitian ini menggunakan bilangan *Reynolds*, $Re_{Dh} = 1,8 \times 10^5$ dan $Re_{Dh} = 3,6 \times 10^5$, *Stagnation pressure tube* dan *wall pressure tap* dihubungkan dengan *pressure transducer 1"WC* digunakan sebagai alat ukur dalam pengambilan data eksperimen yang menghasilkan tekanan statis dan tekanan dinamis. Data kuantitatif yang didapatkan berupa distribusi C_p pada midspan dinding inner dan outer searah streamline, distribusi C_p searah *radial* (tegak lurus *streamline*) pada *upper elbow* pada posisi 45° serta profile kecepatan pada 5 *section* yang telah ditentukan. Data tersebut kemudian diolah menjadi bilangan tidak berdimensi yaitu C_p dan u/U .

Berdasarkan analisa kuantitatif dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Penambahan dua *guide vane* pada *octagonal elbow 90°* dapat menurunkan *pressure drop*. Hal ini dapat diketahui dari perbandingan nilai ΔC_p (*inlet-outlet*) dan ΔC_p (*inner-outer*) pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.
- 2) Pada hasil eksperimen profile kecepatan pada inlet terdapat backflow yang disebabkan karena pengaruh elbow pada bagian sebelum inlet. Profil aliran juga dipengaruhi wake akibat adanya rotor penggerak pada poros fan. Sehingga hal ini mempengaruhi profil aliran sepanjang saluran *test section octagonal elbow 90°*.
- 3) Pada *elbow* dengan dan tanpa penambahan *guide vane* distribusi *wall pressure coefficient* (C_p) searah radial di posisi $\theta = 45^\circ$ *elbow* mempunyai tren naik seiring dengan jari-jari kelengkungan.



- 4) ΔC_p antara *inlet* dan *outlet elbow* secara tidak langsung menunjukkan koefisien *minor losses (K)* pada *elbow*. Semakin besar koefisien *minor losses (K)* semakin besar pula *head loss* yang dihasilkan. Penambahan guide vane dapat menurunkan koefisien *minor losses (K)*. Hal ini dapat diketahui dari perbandingan nilai koefisien *minor losses (K)* tabel 4.3.
- 5) Intensitas turbulensi setelah ditambahkan guide vane pada elbow mengalami penurunan, namun masih tergolong cukup tinggi dari intensitas turbulensi idealnya yaitu kurang dari 1% atau mendekati 0%. Perbandingan Intensitas turubulensi pada setiap *Re* dan jumlah guide vane dapat dilihat pada tabel 4.5

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan baik dari hasil eksperimen dan numerik, terdapat beberapa hal yang masih perlu diperbaiki untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Beberapa saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan antara lain:

- 1) Sebelum pengambilan data sebaiknya diperhatikan distribusi tekanan sepanjang wind tunnnel sehingga peneliti dapat menentukan tipe pressure tranducer dan pitot tube yang sesuai.
- 2) Penelitian ini tidak boleh mengabaikan faktor temperature ruangan, suhu instalasi percobaan dan faktor- faktor teknis seperti kebocoran pada flens dan pembentuk sisi oktagon al instalasi.
- 3) Sebaiknya pada sisi inlet elbow dilengkapi dengan *screen* untuk mengurangi turbulensi aliran dan pengaruh elbow sebelum memasuki inlet. Sehingga aliran pada sisi inlet dapat lebih uniform.



DAFTAR PUSTAKA

- Adityas. 2013. Studi Eksperimen dan Numerik Aliran Didalam Rectangular Elbow 90 Dilengkapi dengan Rounded Leading and Trailing Edges Guide Vanes. Tugas Akhir. Teknik Mesin ITS Surabaya.
- Bell, J. H dan Mehta, R. D. 1989. *Boundary-Layer Predictions for Small Low Speed Contractions*. AIAA Journal.
- Cheng, D.Y. 1994. Laminar Flow Elbow System and Method. U.S. Patent Documents, No. 5,323,661.
- Danbon, F. & Sollicie, C. 2000. Aerodynamic Torque of Butterfly Valve-Influence of an Elbow on The Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque. J. Fluids Engineering, vol. 122, p. 337-344.
- Fox, R.W. & McDonald, A. T. 1998. Introduction to Fluid Mechanics. 5th edition, John Wiley and Son, Inc.
- Gonzales, Miguel. 2013. Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel. Science Direct. Spanyol.
- Hakim, Amir. 2008. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Dua Guide Vanes terhadap Pressure Drop Aliran didalam Rectangular Elbow 90° studi kasus untuk angka Reynolds $2,1 \times 10^4$ dan $8,4 \times 10^4$. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin. FTI-ITS. Surabaya.
- Iswati. 2012. Studi Eksperimental dan Numerik Pengaruh Penambahan Dua Guide Vanes terhadap Pressure Drop Aliran didalam Horizontal Rectangular Elbow 90° studi kasus untuk angka Reynolds $2,1 \times 10^5$. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin. FTI-ITS. Surabaya.
- Kim, W.J. & Patel C. 1994. Influence of Streamwise Curvature on Longitudinal Vortices Imbeded in Turbulent Boundary Layer. J. Computer Fluids, vol. 23: p. 647-673.
- Miller, D.S. 1984. Internal Flow System, 1nd edition. BHRA (Information Service).
- Sutardi, A.W.Wawan, Affan.ibnu, Iswati, dan M.D.Sutrisno. 2010. Experimental Study on The Effect of Guide Vane



Insertion and Reynolds Numbers on The Flow Pressure Drop in a 90 Rectangular Elbow. Journal. Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.

Sutrisno, M.D. 2008. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Tiga Buah Guide Vanes terhadap Pressure Drop Aliran di Dalam Rectangular Elbow 90°. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya.

Yang, Zhiyin & Voke, Peter. 2001. Engineering Turbulence and Experiments. Science Direct. USA.

Zainuddin. 2012. Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa. Tugas Akhir. Teknik Mesin Universitas Mataram. NTB.



BIODATA PENULIS



Abel Bryan Adam lahir pada 7 Agustus 1993 di Banyuwangi, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SDN4 Kebaman Srono, SMPN 1 Srono dan SMAN 2 Jember. Kemudian tahun 2011 melalui jalur SNMPTN undangan diterima di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis pernah menjabat sebagai Kabiro Alumni Industri di departemen Hubungan Luar HMM-ITS 2013/2014. Selain itu penulis juga aktif di beberapa kepanitiaan salah satunya ditingkat nasional adalah IEMC (Indonesia Energy Marathon Challenge).

Bagi penulis tidak ada hal yang sulit selagi kita mau berusaha untuk mencari jalan keluar. Pengalaman berat menyelesaikan tugas akhir membuat penulis belajar tentang arti usaha keras dan doa. Jangan jadikan sebuah tuntutan itu beban, tetapi jadikanlah tuntutan itu sebuah motivasi untuk mencapai tujuan. Penulis mempunyai impian membangun sebuah perusahaan yang bisa menjadi lapangan kerja baru untuk warga sekitar Banyuwangi dan Surabaya. Segala saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi kebaikan kedepannya. Apabila pembaca ingin berdiskusi terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email: abelbryan54@gmail.com